

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval

Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61215:2005



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2005 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval

Modules photovoltaïques (PV) au silicium cristallin pour application terrestre – Qualification de la conception et homologation

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	6
3 Sampling	7
4 Marking	7
5 Testing	8
6 Pass criteria	8
7 Major visual defects.....	8
8 Report	9
9 Modifications	12
10 Test procedures	12
10.1 Visual inspection	12
10.2 Maximum power determination	12
10.3 Insulation test	13
10.4 Measurement of temperature coefficients	14
10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)	17
10.6 Performance at STC and NOCT	25
10.7 Performance at low irradiance	26
10.8 Outdoor exposure test	27
10.9 Hot-spot endurance test	28
10.10 UV preconditioning test	33
10.11 Thermal cycling test	34
10.12 Humidity-freeze test	36
10.13 Damp-heat test	37
10.14 Robustness of terminations test	38
10.15 Wet leakage current test	39
10.16 Mechanical load test	40
10.17 Hail test	41
10.18 Bypass diode thermal test	44
Annex A (informative) Changes in this second edition with respect to the first edition of IEC 61215.....	46
Figure 1 – Qualification test sequence	10
Figure 2 – NOCT correction factor	23
Figure 3 – Reference plate.....	24
Figure 4 – NOCT measurement by reference plate method	24
Figure 5 – Wind correction factor	25
Figure 6 – Hot-spot effect in Type A cell	28
Figure 7 – Reverse characteristics	29
Figure 8 – Hot-spot effect in type B cell	29
Figure 9 – Case SP: Series-parallel connection	30

Figure 10 – Case SPS: series-parallel-series connection	31
Figure 11 – Thermal cycling test	35
Figure 12 – Humidity-freeze cycle	37
Figure 13 – Hail-test equipment	42
Figure 14 – Impact locations illustrated	44
Table 1 – Summary of test levels	11
Table 2 – Ice-ball masses and test velocities	42
Table 3 – Impact locations	43

Withdawn
IECNorm.COM: Click to view the full PDF of IEC 61215:2005

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

CRYSTALLINE SILICON TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61215 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1993 and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition (published in 1993) are detailed in Annex A.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
82/376/FDIS	82/382/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

CRYSTALLINE SILICON TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES – DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

1 Scope and object

This International Standard lays down IEC requirements for the design qualification and type approval of terrestrial photovoltaic modules suitable for long-term operation in general open-air climates, as defined in IEC 60721-2-1. It applies only to crystalline silicon modules types. A standard for thin-film modules has been published as IEC 61646.

This standard does not apply to modules used with concentrated sunlight.

The object of this test sequence is to determine the electrical and thermal characteristics of the module and to show, as far as is possible within reasonable constraints of cost and time, that the module is capable of withstanding prolonged exposure in climates described in the scope. The actual lifetime expectancy of modules so qualified will depend on their design, their environment and the conditions under which they are operated.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-21:1999, *Environmental testing – Part 2-21: Tests – Test U: Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-78:2001, *Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady state*

IEC 60410:1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 60721-2-1:1982, *Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Temperature and humidity*

IEC 60891:1987, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices*
Amendment 1 (1992)

IEC 60904-1:1987, *Photovoltaic devices – Part 1: Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics*

IEC 60904-2:1989, *Photovoltaic devices – Part 2: Requirements for reference solar cells*

IEC 60904-3:1989, *Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 60904-6:1994, *Photovoltaic devices – Part 6: Requirements for reference solar modules*

IEC 60904-7:1998, *Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*

IEC 60904-9:1995, *Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements*

IEC 60904-10:1998, *Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurements*

IEC 61853: *Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules* ¹

ISO/IEC 17025:1999, *General requirements for competence of testing and calibration laboratories*.

3 Sampling

Eight modules for qualification testing (plus spares as desired) shall be taken at random from a production batch or batches, in accordance with the procedure given in IEC 60410. The modules shall have been manufactured from specified materials and components in accordance with the relevant drawings and process sheets and have been subjected to the manufacturer's normal inspection, quality control and production acceptance procedures. The modules shall be complete in every detail and shall be accompanied by the manufacturer's handling, mounting and connection instructions, including the maximum permissible system voltage.

If the bypass diodes are not accessible in the standard modules, a special sample can be prepared for the bypass diode thermal test (10.18). The bypass diode should be mounted physically as it would be in a standard module, with a thermal sensor placed on the diode as required in 10.18.2. This sample does not have to go through the other tests in the sequence depicted in Figure 1.

When the modules to be tested are prototypes of a new design and not from production, this fact shall be noted in the test report (see Clause 8).

4 Marking

Each module shall carry the following clear and indelible markings:

- name, monogram or symbol of manufacturer;
- type or model number;
- serial number;
- polarity of terminals or leads (colour coding is permissible);
- maximum system voltage for which the module is suitable.

The date and place of manufacture shall be marked on the module or be traceable from the serial number.

¹ Under consideration.

5 Testing

Before beginning the testing, all modules, including the control, shall be exposed to sunlight (either real or simulated) to an irradiation level of $5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ to $5,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ while open-circuited.

The modules shall be divided into groups and subjected to the qualification test sequences in Figure 1, carried out in the order laid down. Each box refers to the corresponding subclause in this standard. Test procedures and severities, including initial and final measurements where necessary, are detailed in Clause 10.

NOTE 1 Where the final measurements for one test serve as the initial measurements for the next test in the sequence, they need not be repeated. In these cases, the initial measurements are omitted from the test.

In carrying out the tests, the tester shall strictly observe the manufacturer's handling, mounting and connection instructions. Tests given in 10.4, 10.5, 10.6 and 10.7 may be omitted if future IEC 61853 has been or is scheduled to be run on this module type.

Test conditions are summarized in Table 1.

NOTE 2 The test levels in Table 1 are the minimum levels required for qualification. If the laboratory and the module manufacturer agree, the tests may be performed with increased severities.

6 Pass criteria

A module design shall be judged to have passed the qualification tests, and therefore to be IEC type approved, if each test sample meets all the following criteria:

- a) the degradation of maximum output power does not exceed the prescribed limit after each test nor 8 % after each test sequence;
- b) no sample has exhibited any open circuit during the tests;
- c) there is no visual evidence of a major defect, as defined in Clause 7;
- d) the insulation test requirements are met after the tests;
- e) the wet leakage current test requirements are met at the beginning and the end of each sequence and after the damp heat test;
- f) specific requirements of the individual tests are met.

If two or more modules do not meet these test criteria, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. Should one module fail any test, another two modules meeting the requirements of Clause 3 shall be subjected to the whole of the relevant test sequence from the beginning. If one or both of these modules also fail, the design shall be deemed not to have met the qualification requirements. If, however, both modules pass the test sequence, the design shall be judged to have met the qualification requirements.

7 Major visual defects

For the purposes of design qualification and type approval, the following are considered to be major visual defects:

- a) broken, cracked, or torn external surfaces, including superstrates, substrates, frames and junction boxes;

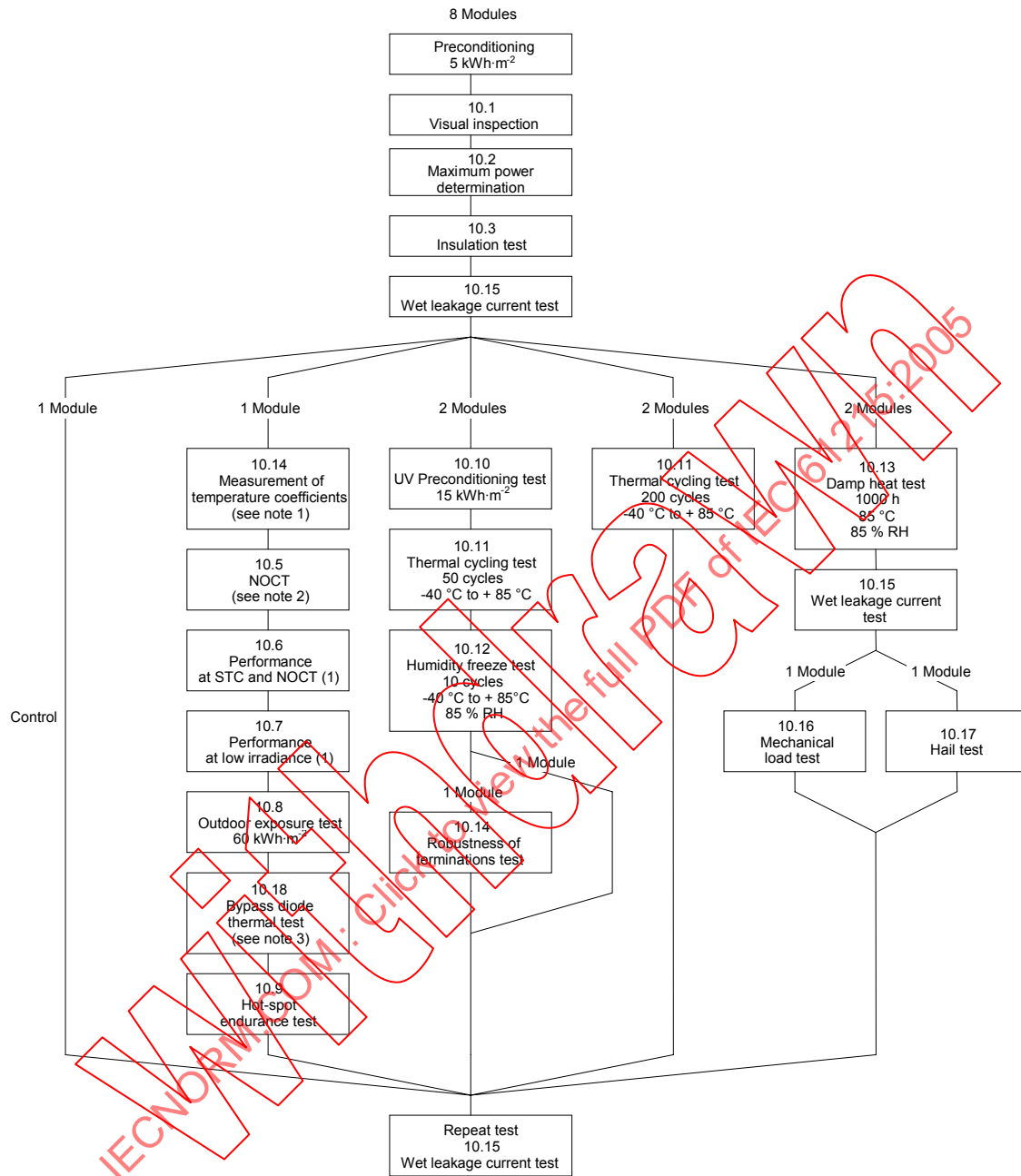
- b) bent or misaligned external surfaces, including superstrates, substrates, frames and junction boxes to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired.
- c) a crack in a cell the propagation of which could remove more than 10 % of that cell's area from the electrical circuit of the module;
- d) bubbles or delaminations forming a continuous path between any part of the electrical circuit and the edge of the module;
- e) loss of mechanical integrity, to the extent that the installation and/or operation of the module would be impaired.

8 Report

Following type approval, a certified report of the qualification tests, with measured performance characteristics and details of any failures and re-tests, shall be prepared by the test agency in accordance with ISO/IEC 17025. The report shall contain the detail specification for the module. Each certificate or test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the certification or report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;
- e) description and identification of the item tested;
- f) characterization and condition of the test item;
- g) date of receipt of test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) identification of test method used;
- i) reference to sampling procedure, where relevant;
- j) any deviations from, additions to or exclusions from the test method, and any other information relevant to a specific tests, such as environmental conditions;
- k) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate including temperature coefficients of short-circuit current, open-circuit voltage and peak power, NOCT, power at NOCT, STC and low irradiance, spectrum of the lamp used for the UV pre-screening test, maximum power loss observed after all of the tests, and any failures observed;
- l) a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant);
- m) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the certificate or report, and the date of issue;
- n) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- o) a statement that the certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

A copy of this report shall be kept by the manufacturer for reference purposes.



IEC 584/05

NOTE 1 May be omitted if IEC 61853 has been performed.

NOTE 2 In the case of modules not designed for open-rack mounting, the NOCT may be replaced by the equilibrium mean solar cell junction temperature in the standard

Figure 1 – Qualification test sequence

Table 1 – Summary of test levels

Test	Title	Test conditions
10.1	Visual inspection	See detailed inspection list in 10.1.2
10.2	Maximum power determination	See IEC 60904-1
10.3	Insulation test	Dielectric withstand at 1 000 V d.c. + twice the maximum systems voltage for 1 min. For modules with an area of less than 0,1 m ² the insulation resistance shall be not less than 400 MΩ. For modules with an area larger than 0,1 m ² the measured insulation resistance times the area of the module shall be not less than 40 MΩ·m ² measured at 500 V or maximum systems voltage, whichever is greater
10.4	Measurement of temperature coefficients (See note 1)	See details in 10.4 See IEC 60904-10 for guidance.
10.5	Measurement of NOCT (See note 1)	Total solar irradiance: 800 W·m ⁻² Ambient temperature: 20 °C Wind speed: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance at STC and NOCT (See note 1)	Cell temperature: 25 °C and NOCT Irradiance: 1000 and 800 W·m ⁻² with IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.7	Performance at low irradiance (see note 1)	Cell temperature: 25 °C Irradiance: 200 W·m ⁻² with IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution
10.8	Outdoor exposure test	60 kWh·m ⁻² total solar irradiation
10.9	Hot-spot endurance test	Five-hour exposure to 1 000 W·m ⁻² irradiance in worst-case hot-spot condition
10.10	UV preconditioning	15 kWh·m ⁻² total UV irradiation in the wavelength range from 280 nm to 385 nm with 5 kWh·m ⁻² UV irradiation in the wavelength range from 280 nm to 320 nm
10.11	Thermal cycling test	50 and 200 cycles from –40 °C to + 85 °C with STC peak power current during 200 cycles
10.12	Humidity freeze test	10 cycles from + 85 °C, 85 % RH to –40 °C
10.13	Damp heat test	1 000 h at + 85 °C, 85 % RH
10.14	Robustness of termination test	As in IEC 60068-2-21
10.15	Wet leakage current test	See details in 10.15 For modules with an area of less than 0,1 m ² the insulation resistance shall be not less than 400 MΩ. For modules with an area larger than 0,1 m ² the measured insulation resistance times the area of the module shall be not less than 40 MΩ·m ² to be measured at 500 V or maximum systems voltage, whichever is greater
10.16	Mechanical load test	Three cycles of 2 400 Pa uniform load, applied for 1 h to front and back surfaces in turn. Optional snow load of 5 400 Pa during last front cycle
10.17	Hail test	25 mm diameter ice ball at 23,0 m·s ⁻¹ , directed at 11 impact locations
10.18	Bypass diode thermal test	One hour at I_{sc} and 75 °C One hour at 1,25 times I_{sc} and 75 °C

NOTE 1 These tests may be omitted if future IEC 61853 has been performed on this module type.

9 Modifications

Any change in the design, materials, components or processing of the module may require a repetition of some or all of the qualification tests to maintain type approval.

10 Test procedures

10.1 Visual inspection

10.1.1 Purpose

To detect any visual defects in the module.

10.1.2 Procedure

Carefully inspect each module under an illumination of not less than 1 000 lux for the following conditions:

- cracked, bent, misaligned or torn external surfaces;
- broken cells;
- cracked cells;
- faulty interconnections or joints;
- cells touching one another or the frame;
- failure of adhesive bonds;
- bubbles or delaminations forming a continuous path between a cell and the edge of the module;
- tacky surfaces of plastic materials;
- faulty terminations, exposed live electrical parts;
- any other conditions which may affect performance.

Make note of and/or photograph the nature and position of any cracks, bubbles or delaminations, etc. which may worsen and adversely affect the module performance in subsequent tests.

10.1.3 Requirements

Visual conditions other than the major visual defects listed in Clause 7 are acceptable for the purposes of type approval.

10.2 Maximum power determination

10.2.1 Purpose

To determine the maximum power of the module before and after the various environmental tests. Repeatability of the test is the most important factor.

10.2.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator class B or better in accordance with IEC 60904-9).

- b) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6. If a class B simulator is used the reference device shall be a reference module of the same size with the same cell technology (to match spectral response) as the test specimen.
- c) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- d) A means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of ± 1 °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- e) Equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading;
- f) Equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.

10.2.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module in accordance with IEC 60904-1 at a specific set of irradiance and temperature conditions (a recommended range is a cell temperature between 25 °C and 50 °C and an irradiance between $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and $1\,100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9. In special circumstances when modules are designed for operation under a different range of conditions, the current-voltage characteristics can be measured using temperature and irradiance levels similar to the expected operating conditions. Temperature and irradiance corrections can be made in accordance with IEC 60891 in order to compare sets of measurements made on the same module before and after environmental tests. However, every effort should be made to assure that peak power measurements are made under similar operating conditions, that is minimize the magnitude of the correction by making all peak power measurements on a particular module at approximately the same temperature and irradiance. Repeatability of the maximum power measurement must be better than ± 1 %.

NOTE Use the control module as a check every time the test modules are measured.

10.3 Insulation test

10.3.1 Purpose

The purpose is to determine whether or not the module is sufficiently well-insulated between current-carrying parts and the frame or the outside world.

10.3.2 Apparatus

- a) DC voltage source, with current limitation, capable of applying 500 V or 1 000 V plus twice the maximum system voltage of the module according to 10.3.4 c).
- b) An instrument to measure the insulation resistance.

10.3.3 Test conditions

The test shall be made on modules at ambient temperature of the surrounding atmosphere (see IEC 60068-1) and in a relative humidity not exceeding 75 %.

10.3.4 Procedure

- a) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of a d.c. insulation tester with a current limitation.
- b) Connect the exposed metal parts of the module to the negative terminal of the tester. If the module has no frame or if the frame is a poor electrical conductor, wrap a conductive foil around the edges and over the back of the module. Connect the foil to the negative terminal of the tester.
- c) Increase the voltage applied by the tester at a rate not exceeding $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ to a maximum equal to 1 000 V plus twice the maximum system voltage (i.e. the maximum system voltage marked on the module by the manufacturer). If the maximum system voltage does not exceed 50 V, the applied voltage shall be 500 V. Maintain the voltage at this level for 1 min.
- d) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- e) Remove the short circuit.
- f) Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not to exceed $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ to 500 V or the maximum system voltage for the module, whichever is greater. Maintain the voltage at this level for 2 min. Then determine the insulation resistance.
- g) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up in the module.
- h) Remove the short circuit and disconnect the test equipment from the module.

NOTE If the module does not have a metal frame, nor a glass superstrate, the insulation test should be repeated with the metallic plate placed on the front of the module as in 10.3.4b).

10.3.5 Test requirements

The following requirements are necessary:

- no dielectric breakdown or surface tracking during step c);
- for modules with an area of less than $0,1 \text{ m}^2$ the insulation resistance shall be not less than $400 \text{ M}\Omega$;
- for modules with an area larger than $0,1 \text{ m}^2$ the measured insulation resistance times the area of the module shall be not less than $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

10.4 Measurement of temperature coefficients

10.4.1 Purpose

The purpose is to determine the temperature coefficients of current (α), voltage (β) and peak power (δ) from module measurements. The coefficients so determined are valid at the irradiance at which the measurements were made. See IEC 60904-10 for evaluation of module temperature coefficients at different irradiance levels.

10.4.2 Apparatus

The following apparatus is required to control and measure the test conditions:

- a) a radiant source (natural sunlight or solar simulator, class B or better in accordance with IEC 60904-9) of the type to be used in subsequent tests;

- b) a PV reference device having a known short-circuit current versus irradiance characteristic determined by calibrating against an absolute radiometer in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6;
- c) any equipment necessary to change the temperature of the test specimen over the range of interest;
- d) a suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in the same plane normal to the radiant beam;
- e) a means for monitoring the temperature of the test specimen and reference device to an accuracy of ± 1 °C, and repeatability of $\pm 0,5$ °C;
- f) equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading;
- g) equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading;

10.4.3 Procedure

There are two acceptable procedures for measuring the temperature coefficients.

10.4.3.1 Procedure in natural sunlight

- a) Measurement in natural sunlight shall only be made when:
 - the total irradiance is at least as high as the upper limit of the range of interest;
 - the irradiance variation caused by short-term oscillations (clouds, haze, or smoke) is less than ± 2 % of the total irradiance as measured by the reference device;
 - the wind speed is less than $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- b) Mount the reference device co-planar with the test module so that both are normal to the direct solar beam within $\pm 5^\circ$. Connect to the necessary instrumentation.
 NOTE The measurements described in the following subclauses should be made as expeditiously as possible within a few hours on the same day to minimize the effect of changes in the spectral conditions. If not, spectral corrections may be required.
- c) If the test module and reference device are equipped with temperature controls, set the controls at the desired level.
- d) If temperature controls are not used, shade the specimen and the reference device from the sun and wind until its temperature is uniform within ± 1 °C of the ambient air temperature, or allow the test specimen to equilibrate to its stabilized temperature, or cool the test specimen to a point below the required test temperature and then let the module warm up naturally. The reference device should also stabilize within ± 1 °C of its equilibrium temperature before proceeding.
- e) Record the current-voltage characteristic and temperature of the specimen concurrently with recording the short-circuit current and temperature of the reference device at the desired temperatures. If necessary, make the measurements immediately after removing the shade.
- f) The irradiance G_o shall be calculated in accordance with IEC 60891 from the measured current (I_{sc}) of the PV reference device, and its calibration value at STC (I_{rc}). A correction should be applied to account for the temperature of the reference device T_m using the specified temperature coefficient of the reference device α_{rc} .

$$G_o = \frac{1000 \text{ Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25^\circ\text{C})]$$

where α_{rc} is the relative temperature coefficient [$1/^\circ\text{C}$] at 25°C and $1\,000 \text{ W/m}^2$.

- g) Adjust the temperature by means of a controller or alternately exposing and shading the test module as required to achieve and maintain the desired temperature. Alternately, the test module may be allowed to warm-up naturally with the data recording procedure of item d) performed periodically during the warm-up.
- h) Ensure that the test module and reference device temperature are stabilized and remain constant within $\pm 1^\circ\text{C}$ and that the irradiance as measured by the reference device remains constant within $\pm 1\%$ during the recording period for each data set. All data must be taken at $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ or be translated to that irradiance level.
- i) Repeat steps d) through h). Module temperatures shall be such that the range of interest is at least 30°C and that it is spanned in at least four approximately equal increments. A minimum of three measurements shall be made at each of the test conditions.

10.4.3.2 Procedure with a solar simulator

- a) Determine the short-circuit current of the module at the desired irradiance at room temperature, in accordance with IEC 60904-1.
- b) Mount the test module in the equipment used to change the temperature. Mount the PV reference device within the simulator beam. Connect to the instrumentation.
- c) Set the irradiance so that the test module produces the short-circuit current determined in item a). Use the PV reference device to maintain this irradiance setting throughout the test.
- d) Heat or cool the module to a temperature of interest. Once the module has reached the desired temperature, measure I_{sc} , V_{oc} and peak power. Change the module temperature in steps of approximately 5°C over a range of interest of at least 30°C and repeat the measurements of I_{sc} , V_{oc} and peak power.

NOTE The complete current-voltage characteristic may be measured at each temperature to determine the temperature change in voltage at peak power and current at peak power.

10.4.3.3 Calculation of temperature coefficients

- a) Plot the values of I_{sc} , V_{oc} and P_{max} as functions of temperature and construct a least-squares-fit curve through each set of data.
- b) From the slopes of the least squares fit straight lines for current, voltage and P_{max} , calculate α , the temperature coefficient of short circuit current, β , the temperature coefficient of open-circuit voltage, and δ , the temperature coefficient of P_{max} , for the module.

NOTE 1 See IEC 60904-10 to determine if the test modules can be considered to be linear devices.

NOTE 2 The temperature coefficients measured in this procedure are only valid at the irradiance level at which they were measured. Relative temperature coefficients expressed as percentages can be determined by dividing the calculated α , β , and δ by the values of current, voltage and peak power at 25°C .

NOTE 3 Because the fill factor of the module is a function of temperature, it is not sufficient to use the product of α and β as the temperature coefficient of peak power.

10.5 Measurement of nominal operating cell temperature (NOCT)

10.5.1 Purpose

To determine the NOCT of the module.

10.5.2 Introduction

NOCT is defined as the equilibrium mean solar cell junction temperature within an open-rack mounted module in the following standard reference environment (SRE):

- tilt angle: 45° from the horizontal
- total irradiance: 800 W·m⁻²
- ambient temperature: 20 °C
- wind speed: 1 m·s⁻¹
- electrical load: nil (open circuit).

NOCT can be used by the system designer as a guide to the temperature at which a module will operate in the field and it is therefore a useful parameter when comparing the performance of different module designs. However, the actual operating temperature at any particular time is affected by the mounting structure, irradiance, wind speed, ambient temperature, sky temperature and reflections and emissions from the ground and nearby objects. For accurate performance predictions, these factors shall be taken into account.

Two methods for determining NOCT are described.

The first, called "the primary method", is universally applicable to all PV modules. In the case of modules not designed for open-rack mounting, the primary method may be used to determine the equilibrium mean solar cell junction temperature in the SRE, with the module mounted as recommended by the manufacturer.

The second, called "the reference plate method", is faster but is applicable only to PV modules of the type which respond to changes of ambient temperature (within restricted ranges of wind speed and irradiance) in the same way as the reference plates used in the measurement. Crystalline silicon modules with a glass front and plastic back are in this category. The reference plates are calibrated using the same procedure as in the primary method.

10.5.3 Primary method

10.5.3.1 Principle

This method is based on gathering actual measured cell temperature data under a range of environmental conditions including the SRE. The data are presented in a way that allows accurate and repeatable interpolation of the NOCT.

The temperature of the solar cell junction (T_J) is primarily a function of the ambient temperature (T_{amb}), the average wind speed (V) and the total solar irradiance (G) incident on the active surface of the module. The temperature difference ($T_J - T_{amb}$) is largely independent of the ambient temperature and is essentially linearly proportional to the irradiance at levels above 400 W·m⁻². The procedure calls for plotting ($T_J - T_{amb}$) against G

for a period when wind conditions are favorable. A preliminary NOCT value is then determined by adding 20 °C to the value of $(T_J - T_{amb})$ interpolated at the SRE irradiance of 800 W·m⁻². Finally, a correction factor, dependent on the average temperature and wind speed during the test period, is added to the preliminary NOCT to correct it to 20 °C and 1 m·s⁻¹.

10.5.3.2 Apparatus

The following apparatus is required:

- a) an open rack to support the test module(s) and pyranometer in the specified manner (see 10.5.3.3). The rack shall be designed to minimize heat conduction from the modules and to interfere as little as possible with the free radiation of heat from their front and back surfaces;

NOTE In the case of modules not designed for open-rack mounting, the test module(s) should be mounted as recommended by the manufacturer.

- b) a pyranometer, mounted in the plane of the module(s) and within 0,3 m of the test array;
- c) instruments to measure wind speed down to 0,25 m·s⁻¹ and wind direction, installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and 1,2 m to the east or west;
- d) an ambient temperature sensor, with a time constant equal to or less than that of the module(s), installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensors;
- e) cell temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each test module, or other equipment necessary for IEC-approved measurement of cell temperature;
- f) a data acquisition system with temperature measurement accuracy of ± 1 °C to record the following parameters within an interval of no more than 5 s.
 - irradiance,
 - ambient temperature,
 - cell temperature
 - wind speed,
 - wind direction.

10.5.3.3 Test module mounting

Tilt angle: the test module(s) shall be positioned so that it (they) is (are) tilted at $45^\circ \pm 5^\circ$ to the horizontal with the front side pointed toward the equator.

Height: the bottom edge of the test module(s) shall be 0,6 m or more above the local horizontal plane or ground level.

Configuration: to simulate the thermal boundary conditions of modules installed in an array, the test module(s) shall be mounted within a planar surface that extends at least 0,6 m beyond the module(s) in all directions. For modules designed for free-standing, open-back installations, black aluminum plates or other modules of the same design shall be used to fill out the remaining open area of the planar surface.

Surrounding area: there shall be no obstructions to prevent full irradiance of the test module(s) during the period from 4 h before local solar noon to 4 h after local solar noon. The ground surrounding the module(s) shall not have an abnormally high solar reflectance and shall be flat and level or sloping away from the test fixture in all directions. Grass, other types of vegetation, black asphalt or dirt are acceptable for the local surrounding area.

10.5.3.4 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s), as described in 10.5.3.3. Ensure that the test module(s) are open-circuited.
- b) On a suitable, clear, sunny day with little wind, record, as a function of time, the cell temperature, the ambient temperature, the irradiance, wind speed and wind direction.
- c) Reject all data taken during the following conditions:
 - irradiance below $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - in a 10-min interval after the irradiance varies by more than 10 % from the maximum value to the minimum value recorded during that 10 min period;
 - wind speeds outside the range $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - ambient temperatures outside the range $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ or varying by more than 5°C from the maximum to the minimum value recorded during one data collection run;
 - in a 10-min interval after a wind gust of more than $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - wind direction within $\pm 20^\circ$ of east or west.
- d) From a minimum of 10 acceptable data points covering an irradiance range of at least $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, making sure that data points are from both before and after solar noon, plot $(T_J - T_{\text{amb}})$ as a function of irradiance. Use regression analysis to fit the data points.
- e) Determine the value of $(T_J - T_{\text{amb}})$ at $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ and add 20°C to give the preliminary value of NOCT.
- f) Calculate the average ambient temperature, T_{amb} , and the average wind speed, V , associated with the acceptable data points and determine the appropriate correction factor from Figure 2.
- g) Add the correction factor to the preliminary NOCT to correct it to 20°C and $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. This sum is the NOCT of the module.
- h) Repeat the entire procedure on two additional days and average the three values of NOCT for each test module.

10.5.4 Reference-plate method

10.5.4.1 Principle

This method is based on the principle of comparing the temperature of the test module(s) with that of standard reference plates under the same conditions of irradiance, ambient temperature and wind speed. The steady-state temperature of the reference plate in the SRE is determined using the primary method described in 10.5.3.

The NOCT of the test module is obtained by correcting the temperature difference between the test module and the reference plates to the SRE and adding this value to the mean steady-state temperature of the reference plates in the SRE. It has been established that the measured temperature difference is insensitive to fluctuations in irradiance and to small changes in ambient temperature and wind speed.

10.5.4.2 Reference plate

The reference plates shall be made of hard aluminum alloy to the dimensions shown in Figure 3. The front surface shall be painted matte black and the back surface gloss white. Means shall be provided for measuring the temperature of the reference plates to the required accuracy. One method employing two thermocouples is shown in Figure 3. One thermocouple is cemented into each branch of the milled groove with thermally conductive and electrically insulating adhesive, after removing any insulation for a distance of 25 mm from the junction. The remainder of the thermocouple wires are finally cemented into the groove with conductive putty.

At least three reference plates shall be made and calibrated, using the primary method described in 10.5.3. The steady-state temperatures so determined shall be within the range 46 °C to 50 °C and shall differ by no more than 1 °C. One of the reference plates shall be kept unused as a control. Before making a NOCT measurement, the steady-state temperatures of the reference plates shall be checked against that of the control plate under the acceptable conditions indicated in item c) of 10.5.3.4 to detect any change in their thermal properties. If the measured temperatures of the reference plates differ by more than 1 °C, the reason for this shall be investigated and necessary corrective action taken before proceeding with the test.

10.5.4.3 Test site

Select a flat test site with negligible wind disturbance from buildings, trees and topographical features. Non-uniform reflections from the ground and objects behind the test plane shall be avoided.

10.5.4.4 Apparatus

The following apparatus is required (see Figure 4).

- a) A number of reference plates, as described in 10.5.4.2 (one more than the number of modules to be tested simultaneously).
- b) A pyranometer or a PV reference device.
- c) An open rack to support the test module(s), reference plates and pyranometer tilted at $45^\circ \pm 5^\circ$ to the horizontal with the front side toward the equator. Each module shall be closely flanked by two reference plates with the lower edge of the module(s) approximately 1 m above the ground. The rack shall be designed to minimize heat conduction from the module(s) and plates and to interfere as little as possible with the free radiation of heat from their front and back surfaces.
- d) Instruments to measure wind speed down to $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and wind direction, installed approximately 0,7 m above the top of the module(s) and 1,2 m to the east or west, as shown in Figure 4.
- e) An ambient temperature sensor with a time constant equal to or less than that of the modules, installed in a shaded enclosure with good ventilation near the wind sensors.

- f) Cell temperature sensors, attached by solder or thermally conductive adhesive to the backs of two solar cells near the middle of each module, or other equipment necessary for IEC-approved measurement of cell temperature.
- g) A data acquisition system with temperature measurement accuracy of ± 1 °C to record the following parameters within an interval of no more than 5 s:
 - irradiance;
 - ambient temperature;
 - cell temperature;
 - wind speed;
 - wind direction;
 - reference-plate temperatures.

10.5.4.5 Procedure

- a) Set up the apparatus with the test module(s) and reference plates as shown in Figure 4. Ensure that the test module(s) are open-circuited.
- b) On a suitable, clear, sunny day with little wind, record, as a function of time, the cell temperature(s) of the test module(s), the reference-plate temperature, irradiance, ambient temperature, wind speed and wind direction.
- c) Reject all data taken during, or for 15 min after, the following conditions:
 - irradiance below $750 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ or above $850 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - irradiance varying by more than $\pm 40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ during one data collection run;
 - wind speeds above $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ that continue for more than 30 s;
 - wind speeds below $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - wind direction within $\pm 20^\circ$ of east or west;
 - differences between temperatures of the reference plates greater than 1 °C.
- d) For each data point in the selected period, take the mean temperature T_P of all the reference plates.
- e) For each data point in the selected period and for each test module:
 - 1) take the mean cell temperature T_J and calculate:

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

If ΔT_{JP} varies by more than 4 °C, the reference plate method is not applicable and the primary method described in 10.5.3 shall be used.

- 2) Average all values of ΔT_{JP} to give ΔT_{JPM} .
- 3) Correct ΔT_{JPM} to the SRE as follows:

$$\Delta T_{JPM} (\text{corrected}) = (f/\zeta R) \cdot \Delta T_{JPM} (\text{uncorrected})$$

where

- f , the irradiance correction factor, is 800 divided by the average irradiance over the selected period;
- ζ , the ambient temperature correction factor, is obtained from the average ambient temperature T_{amb} over the selected period using the following table (linear interpolation for ζ values is acceptable).

T_{amb} (°C)	ζ
0	1,09
10	1,05
20	1,00
30	0,96
40	0,92
50	0,87

R , the wind correction factor, is obtained from the average wind speed over the selected period, using the graph in Figure 5.

4) Calculate the NOCT of the test module as follows:

$$NOCT = T_{PR} + \Delta T_{JPm} \text{ (corrected)}$$

where T_{PR} is the mean steady-state temperature of the reference plates in the SRE.

f) Repeat the entire procedure on two additional days and average the three values of NOCT for each test module.

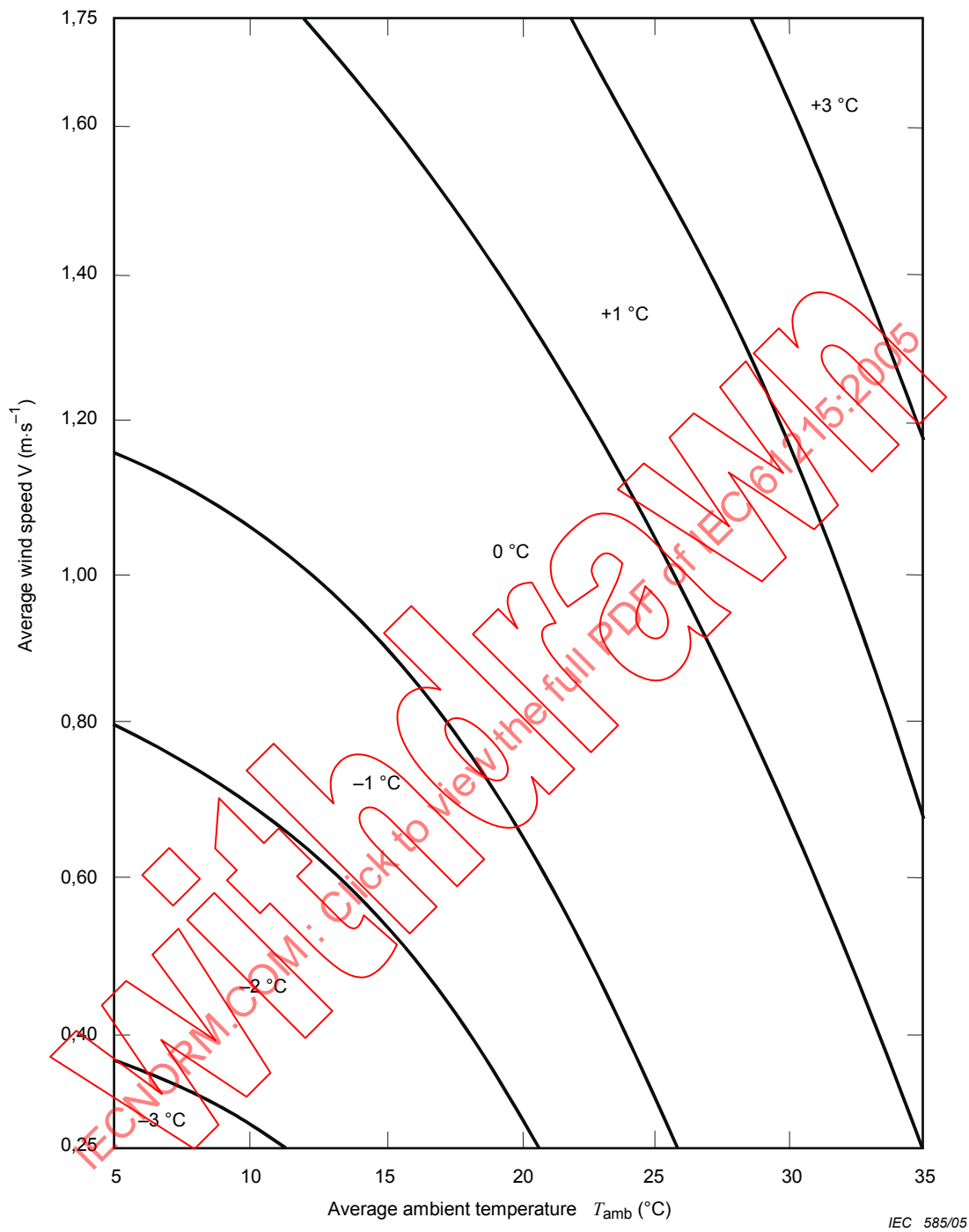
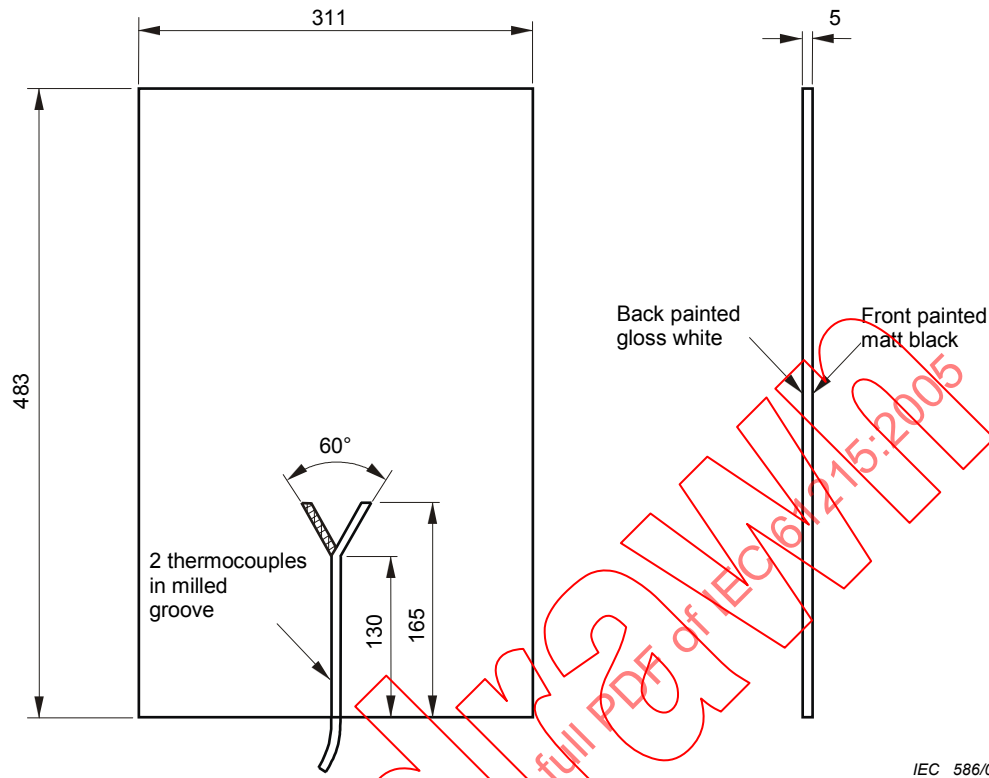


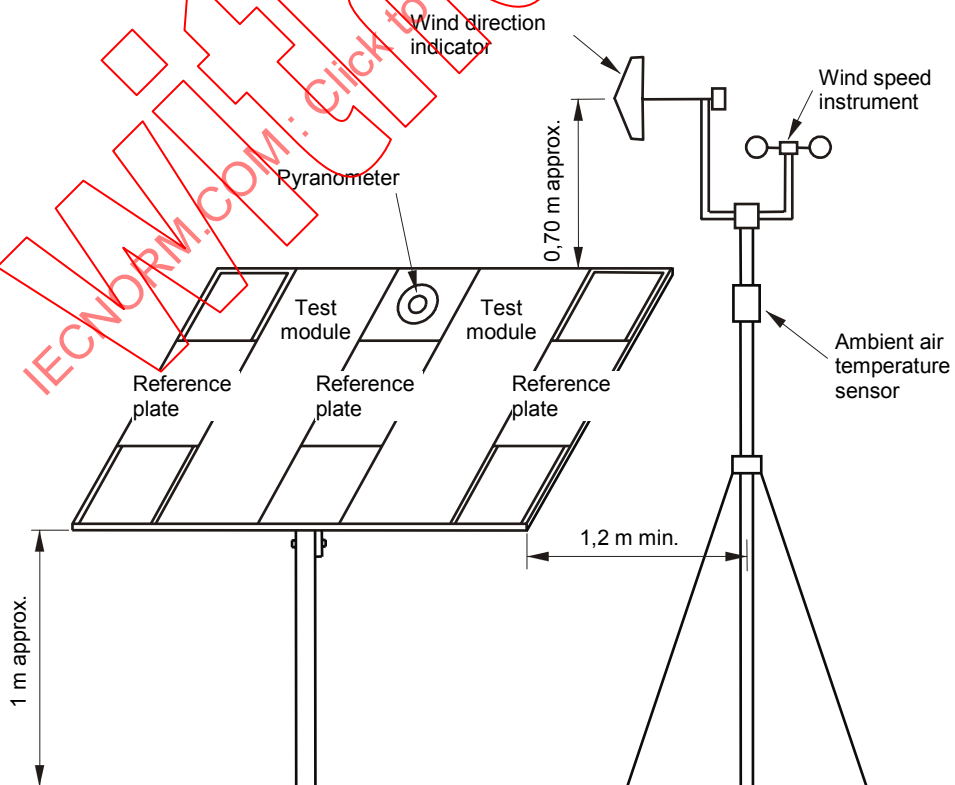
Figure 2 – NOCT correction factor

Dimensions in millimetres



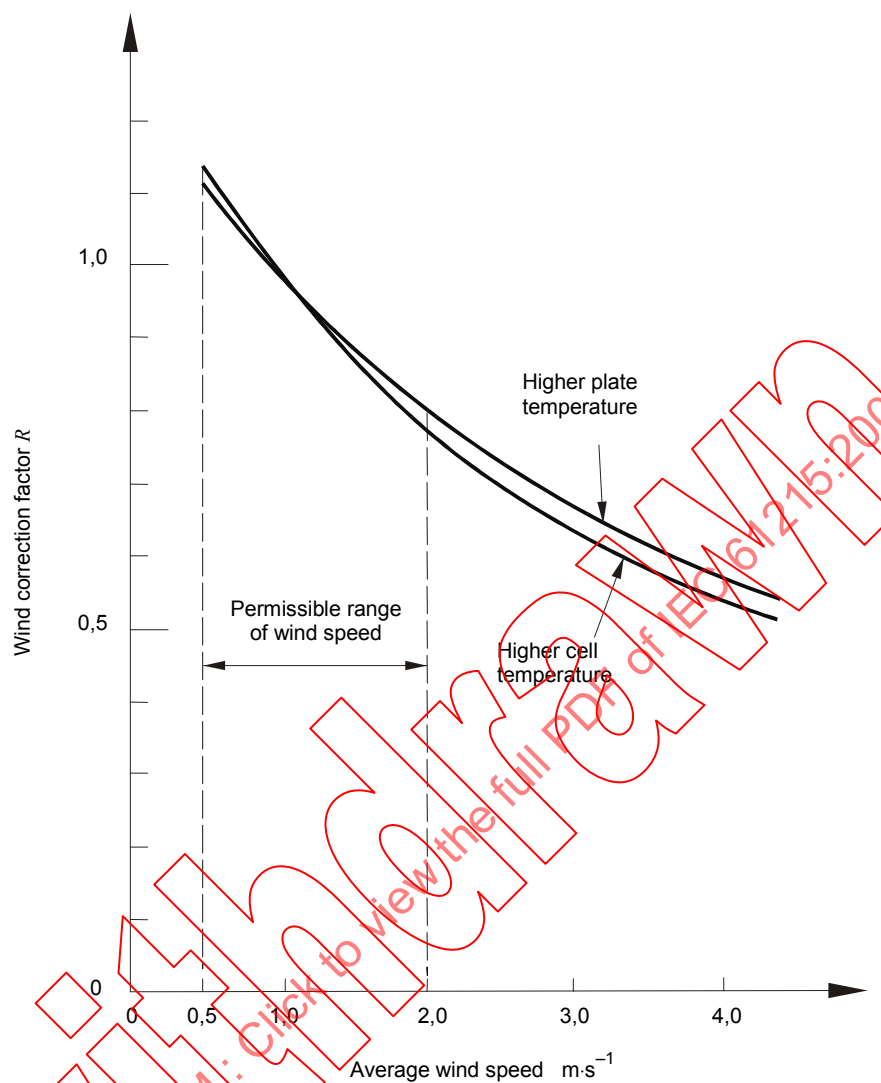
IEC 586/05

Figure 3 – Reference plate



IEC 587/05

Figure 4 – NOCT measurement by reference plate method



IEC 588/05

Figure 5 – Wind correction factor

10.6 Performance at STC and NOCT

10.6.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at STC ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ cell temperature, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution) and at NOCT and an irradiance of $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, with the IEC 60904-3 reference solar spectral irradiance distribution.

10.6.2 Apparatus

- A radiant source (natural sunlight or a solar simulator class B or better) in accordance with IEC 60904-9.
- A PV reference device in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6. If a class B simulator is used, the reference device shall be a reference module of the same size with the same cell technology to match spectral response.

- c) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- d) A means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of ± 1 °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- e) Equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- f) Equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- g) Equipment necessary to change the temperature of the test specimen to the NOCT temperature measured in 10.5.

10.6.3 Procedure

10.6.3.1 STC

Maintain the module at 25 °C and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9.

10.6.3.2 NOCT

Heat the module uniformly to NOCT and trace its current-voltage characteristic at an irradiance of $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1, using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of the IEC 60904-9.

If the reference device is not spectrally matched to the test module, use IEC 60904-7 to calculate the spectral mismatch correction.

10.7 Performance at low irradiance

10.7.1 Purpose

To determine how the electrical performance of the module varies with load at 25 °C and an irradiance of $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a simulator class B or better conforming to the requirements of IEC 60904-9.

10.7.2 Apparatus

- a) A radiant source (natural sunlight or a solar simulator class B or better) in accordance with IEC 60904-9.
- b) Equipment necessary to change the irradiance to $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ without affecting the relative spectral irradiance distribution and the spatial uniformity in accordance with IEC 60904-10.
- c) A PV reference device in accordance with IEC 60904-2 or IEC 60904-6.
- d) A suitable mount for supporting the test specimen and the reference device in a plane normal to the radiant beam.
- e) A means for monitoring the temperature of the test specimen and the reference device to an accuracy of ± 1 °C and repeatability of $\pm 0,5$ °C.
- f) Equipment for measuring the current of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.
- g) Equipment for measuring the voltage of the test specimen and reference device to an accuracy of $\pm 0,2$ % of the reading.

10.7.3 Procedure

Determine the current-voltage characteristic of the module at $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and an irradiance of $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (as measured by a suitable reference device), in accordance with IEC 60904-1 using natural sunlight or a class B or better simulator conforming to the requirements of IEC 60904-9. The irradiance shall be reduced to the specified level by using neutral filters or some other technique, which does not affect the spectral irradiance distribution. (See IEC 60904-10 for guidance on reducing the irradiance without changing the spectral irradiance distribution.)

10.8 Outdoor exposure test

10.8.1 Purpose

To make a preliminary assessment of the ability of the module to withstand exposure to outdoor conditions and to reveal any synergistic degradation effects which may not be detected by laboratory tests.

NOTE Caution should be taken in making absolute judgements about module life on the basis of passing this test because of the shortness of the test and the environmental variability of the test conditions. This test should only be used as a guide or indicator of possible problems.

10.8.2 Apparatus

- A device capable of measuring solar irradiation, with an uncertainty of less than $\pm 5\%$.
- Means to mount the module, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation measuring device.
- A load sized such that at STC the module will operate near the maximum power point.

10.8.3 Procedure

- Attach the resistive load to the module and mount it outdoors, as recommended by the manufacturer, co-planar with the irradiation monitor. Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.
- Subject the module to an irradiation totalling $60\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, as measured by the monitor, under conditions conforming to general open-air climates, as defined in IEC 60721-2-1.

10.8.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.8.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5% of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.9 Hot-spot endurance test

10.9.1 Purpose

The purpose of this test is to determine the ability of the module to withstand hot-spot heating effects, for example solder melting or deterioration of the encapsulation. This defect could be provoked by cracked or mismatched cells, interconnect failures, partial shadowing or soiling.

10.9.2 Hot-spot effect

Hot-spot heating occurs in a module when its operating current exceeds the reduced short-circuit current of a shadowed or faulty cell or group of cells within it. When such a condition occurs, the affected cell or group of cells is forced into reverse bias and must dissipate power, which can cause overheating.

Figure 6 illustrates the hot-spot effect in a module of a series string of cells, one of which, cell Y, is partially shadowed. The amount of power dissipated in Y is equal to the product of the module current and the reverse voltage developed across Y. For any irradiance level, maximum power is dissipated in the short-circuit current condition, when the reverse voltage across Y is equal to the voltage generated by the remaining $(s - 1)$ cells in the module. This is shown in Figure 6 by the hatched rectangle constructed at the intersection of the reverse I-V characteristic of Y with the image of the forward I-V characteristic of the $(s - 1)$ cells.

Because the reverse characteristics can vary considerably from cell to cell, it is necessary to classify cells as voltage limited (type A) or current limited (type B), according to how the reverse characteristic intersects the “test limit zone” shown in Figure 7.

Figure 6 applies to type A cells. It illustrates that the maximum dissipation in a faulty or shadowed type A cell occurs when the reverse characteristic intersects the image of the $(s - 1)$ characteristic at its maximum power point.

In contrast, Figure 8 shows that the maximum dissipation in a type B cell occurs when it is fully shadowed. But it should be noted that, in this case, the dissipated power may be only a fraction of the total power available from the module.

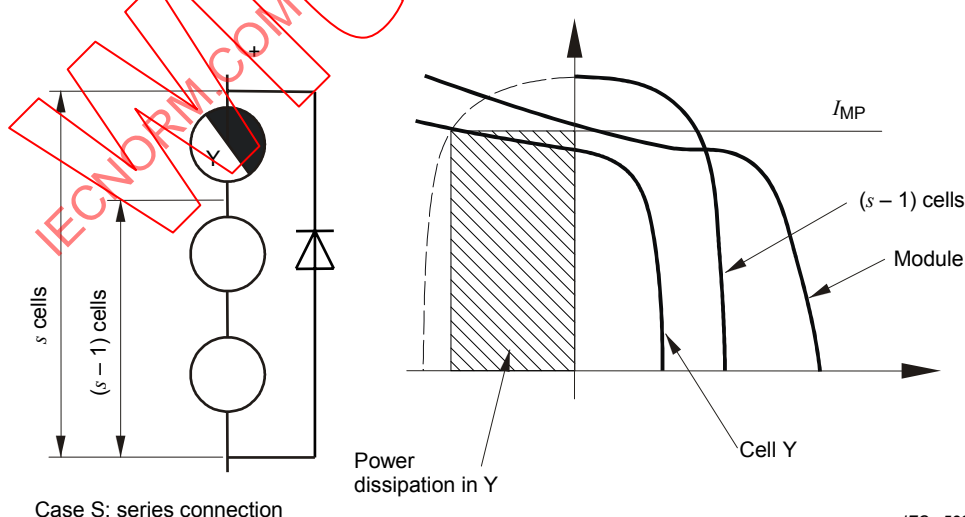


Figure 6 – Hot-spot effect in type A cell

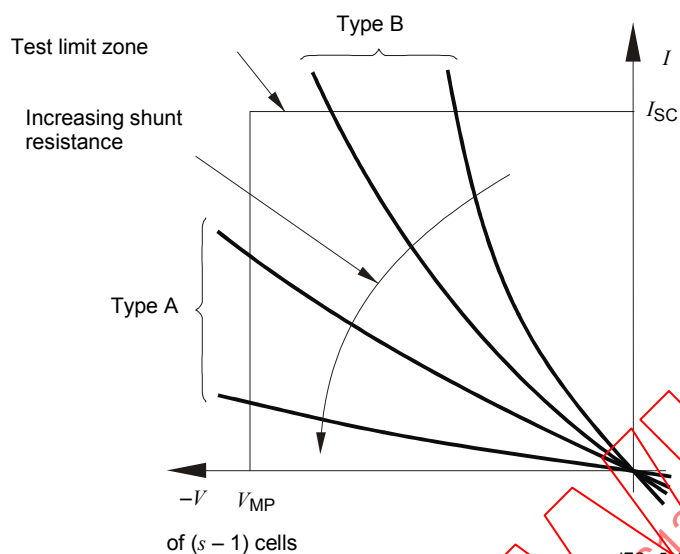


Figure 7 – Reverse characteristics

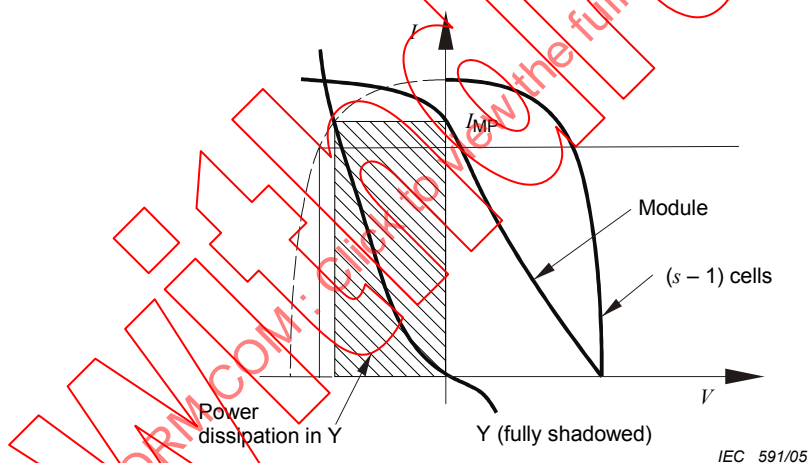


Figure 8 – Hot-spot effect in type B cell

10.9.3 Classification of cell interconnection

Solar cells in a PV module are connected in one of the following ways:

- Case S: series connection of s cells in a single string;
- Case SP: series-parallel connection, i.e. a parallel connection of p strings, each with s cells in series; see Figure 9;
- Case SPS: Series-parallel-series connection, i.e. a series connection of b blocks, where each block consists of a parallel connection of p strings, each with s cells in series. See Figure 10.

By-pass diodes, if present, limit the reverse voltage of the enclosed cells and therefore define the part of the circuit to be tested. The maximum internal power dissipation occurs with the module short-circuited.

NOTE The maximum internal power dissipation of the diode occurs when the circuit element protected by the bypass diode is short circuited. Usually this is accomplished by short circuiting the whole module. If the module does not bypass diodes, check the manufacturer's instructions to see if a maximum number of series modules is recommended before installing bypass diodes. If the maximum number of modules recommended is greater than one, the subsequent tests in this section should be performed with that number of modules in series. If this number is large a constant current power supply may be substituted for all but the test module. In this case, the current of the power supply should be set at I_{MP} during the 5 h exposure.

10.9.4 Apparatus

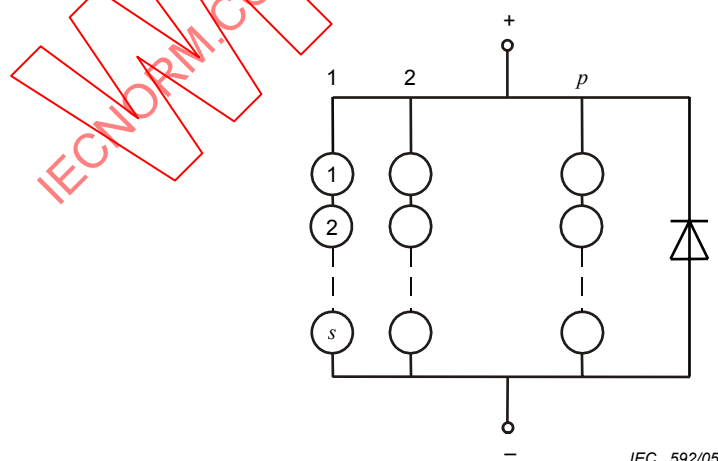
- Radiant source 1. Steady-state solar simulator or natural sunlight capable of an irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ with a non-uniformity of not more than $\pm 2 \%$ and a temporal stability within $\pm 5 \%$.
- Radiant source 2. Class C steady-state solar simulator (or better) or natural sunlight with an irradiance of $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \pm 10 \%$.
- Module I-V curve tracer.
- Set of opaque covers for test cell shadowing in 5 % increments.
- An appropriate temperature detector, if required.

10.9.5 Procedure

Any hot-spot protective devices recommended by the manufacturer shall be installed before the module is tested.

10.9.5.1 Case S

- Expose the unshadowed module to radiant source 1 at an irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Measure the I-V characteristic and determine the current at maximum power, I_{MP} .
- Short-circuit the module and select a cell by one of the following methods:



IEC 592/05

Figure 9 – Case SP: Series-parallel connection

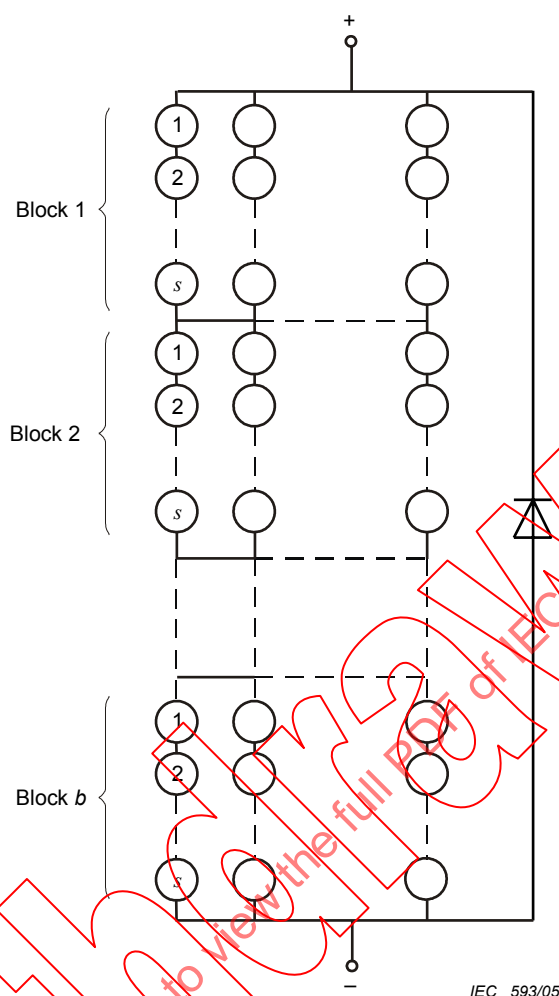


Figure 10 – Case SPS: series-parallel-series connection

- 1) With the module exposed to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, determine the hottest cell using an appropriate temperature detector. (An infrared (IR) camera is recommended).
- 2) Under the irradiance specified for step a), completely shadow each cell in turn and select the cell or one of the cells which gives the biggest decrease in short-circuit current when shadowed. During this process, the irradiance shall not change by more than $\pm 5 \%$.
- c) Under the same irradiance (within $\pm 3 \%$) as used in step a), completely shadow the selected cell and check that the short circuit current (I_{SC}) of the module is less than the peak power current (I_{MP}) of the module, as determined in step a). If this condition does not occur, the condition of maximum power dissipation within a single cell cannot be set. In this case, proceed with the selected cell completely shadowed, omitting step d).
- d) Gradually decrease the shadowed area of the selected cell until I_{SC} of the module coincides as closely as possible with I_{MP} . In this condition, the maximum power is dissipated within the selected cell.
- e) Expose the module to radiant source 2. Note the value of I_{SC} and keep the module in the condition of maximum power dissipation, re-adjusting the shadow, if necessary, to maintain I_{SC} at the specified level. Under these conditions the module temperature should be $50^\circ \text{C} \pm 10^\circ \text{C}$.
- f) Maintain this condition for a total exposure time of 5 h.

10.9.5.2 Case SP

- a) Expose the unshadowed module to radiant source 1 at an irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Measure the I-V characteristic and determine I_{SC}^* , the short-circuit current corresponding to the condition of maximum hot spot power dissipation, from the following equation, assuming that all strings generate the same current:

$$I_{\text{SC}}^* = I_{\text{SC}} \cdot (p - 1) / p + (I_{\text{MP}} / p)$$

where

I_{SC} is the short-circuit current of the unshadowed module;

I_{MP} is the current at maximum power of the unshadowed module;

p is the number of parallel strings in the module.

- b) Short-circuit the module and select a cell by one of the following methods:
- 1) with the module exposed to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, determine the hottest cell using an appropriate temperature detector;
 - 2) under the irradiance specified in step a), completely shadow each cell in turn and find the cell which gives the biggest decrease in short-circuit current when shadowed. During this process, the irradiance shall not change by more than $\pm 5 \%$.
- c) Under the same irradiance as in step a) (within $\pm 3 \%$), check that, with the selected cell fully shadowed, I_{SC} of the module is less than I_{SC}^* , as determined in step a). If this condition does not occur, the condition of maximum power dissipation within a single cell cannot be set. In this case, proceed with the selected cell fully shadowed, omitting step d).
- d) Gradually decrease the shadowed area of the selected cell until I_{SC} of the module coincides as closely as possible with I_{SC}^* . In this condition, the maximum power is dissipated within the selected cell.
- e) Expose the module to radiant source 2. Note the value of I_{SC} and keep the module in the condition of maximum power dissipation, re-adjusting the shadow, if necessary, to maintain I_{SC} at the specified level. Under these conditions the module temperature should be $50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$.
- f) Maintain this condition for a total exposure time of 5 h.

10.9.5.3 Case SPS

- a) Short-circuit the unshadowed module and expose it to radiant source 1 at a stable irradiance of not less than $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Take at random at least 30 % of the cells in the module, fully shadow each cell in turn and measure the temperature at which it stabilizes, using thermal imaging equipment or other appropriate means.
- b) Fully shadow the hottest cell found in step a).
- c) While continuing to monitor its temperature, gradually decrease the shadowed area and determine the condition in which maximum temperature is achieved.
- d) Expose the module to radiant source 2 and keep it in the shadowed condition established in step c). Under these conditions the module temperature should be $50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$.
- e) Maintain this condition for a total exposure time of 5 h.

10.9.6 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.9.7 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7. If there is evidence of serious damage that does not qualify as a major visual defect, repeat the test on 2 additional cells. If there is no visual damage around either of these two cells the module type passes the hot spot test;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.10 UV preconditioning test

10.10.1 Purpose

To precondition the module with ultra-violet (UV) radiation before the thermal cycle/humidity freeze tests to identify those materials and adhesive bonds that are susceptible to UV degradation.

10.10.2 Apparatus

- a) Equipment to control the temperature of the module while it is irradiated by UV light. The equipment must be capable of maintaining the module temperature at $60\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- b) Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of $\pm 2\text{ °C}$. The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module near the middle. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one representative sample.
- c) Instrumentation capable of measuring the irradiation of the UV light produced by the UV light source at the test plane of the module(s), within the wavelength ranges of 280 nm to 320 nm and 320 nm to 385 nm with an uncertainty of $\pm 15\%$.
- d) A UV light source capable of producing UV irradiation with an irradiance uniformity of $\pm 15\%$ over the test plane of the module(s) with no appreciable irradiance at wavelengths below 280 nm and capable of providing the necessary irradiation in the different spectral regions of interest as defined in 10.10.3.

10.10.3 Procedure

- a) Using the calibrated radiometer measure the irradiance at the proposed module test plane and assure that at wavelengths between 280 nm and 385 nm it does not exceed $250\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (i.e. about five times the natural sunlight level) and that it has a uniformity of $\pm 15\%$ over the test plane.
- b) Mount an open-circuited module in the test plane at the location selected in a), normal to the UV irradiance beam. Make sure that the module temperature is $60\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- c) Subject the module(s) to a total UV irradiation of $15\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ in the wavelength range between 280 nm and 385 nm, with at least $5\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ in the wavelength band between 280 nm and 320 nm, while maintaining the module temperature within the prescribed range.

10.10.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.10.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.11 Thermal cycling test

10.11.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand thermal mismatch, fatigue and other stresses caused by repeated changes of temperature.

10.11.2 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature control, means for circulating the air inside and means to minimize condensation on the module during the test, capable of subjecting one or more modules to the thermal cycle in Figure 11.
- b) Means for mounting or supporting the module(s) in the chamber, so as to allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support shall be low, so that, for practical purposes, the module(s) are thermally isolated.
- c) Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of ± 1 °C. The temperature sensors shall be attached to the front or back surface of the module near the middle. If more than one module is tested simultaneously, it will suffice to monitor the temperature of one representative sample.
- d) Means for applying a current equal to the STC peak power current of the module(s) under test.
- e) Means for monitoring the flow of current through each module during the test.

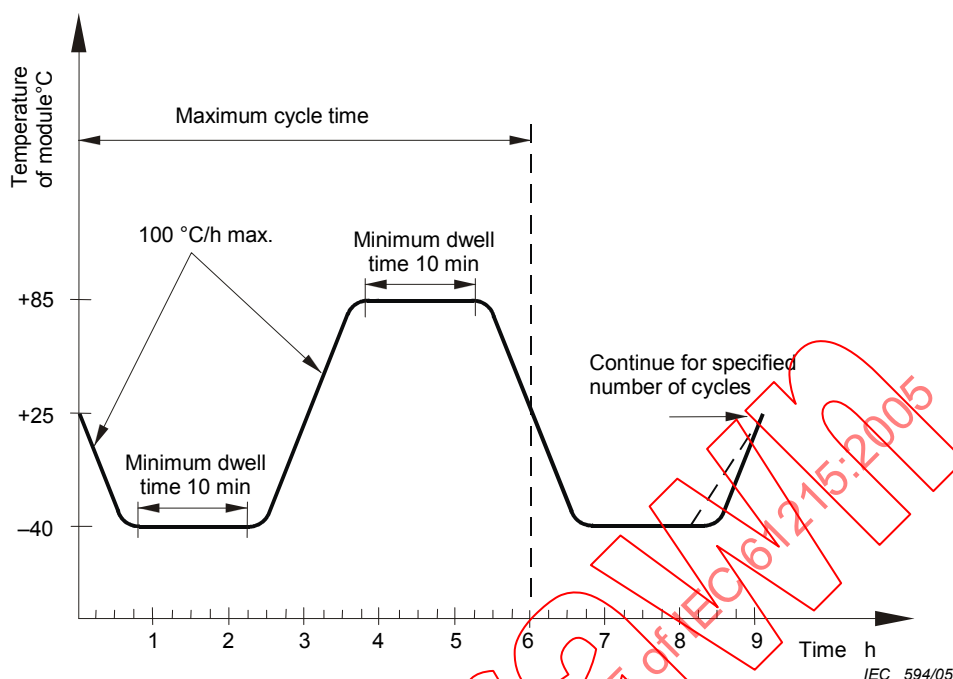


Figure 11 – Thermal cycling test

10.11.3 Procedure

- Install the module(s) at room temperature in the chamber.
- Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s). Connect each module to the appropriate current supply by connecting the positive terminal of the module to the positive terminal of the power supply and the second terminal accordingly. During the 200 thermal cycle test set the current flow to the measured STC peak power current within $\pm 2\%$. Current flow shall only be maintained when the module temperature is above $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. During the 50 thermal cycle test no current flow is required.
- Close the chamber and subject the module(s) to cycling between module temperatures of $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, in accordance with the profile in Figure 11. The rate of change of temperature between the low and high extremes shall not exceed $100\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ and the module temperature shall remain stable at each extreme for a period of at least 10 min. The cycle time shall not exceed 6 h unless the module has such a high heat capacity that a longer cycle is required. The number of cycles shall be as shown in the relevant blocks in Figure 1.
- Throughout the test, record the module temperature and monitor the current flow through the module(s).

NOTE In a module with parallel circuits an open circuit in one branch will cause a discontinuity in the voltage, but not cause it to go to zero.

10.11.4 Final measurements

After a minimum recovery time of 1 h, repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.11.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no interruption of current flow during the test;
- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.12 Humidity-freeze test

10.12.1 Purpose

The purpose of this test is to determine the ability of the module to withstand the effects of high temperature and humidity followed by sub-zero temperatures. This is not a thermal shock test.

10.12.2 Apparatus

- a) A climatic chamber with automatic temperature and humidity control, capable of subjecting one or more modules to the humidity-freeze cycle specified in Figure 12.
- b) Means for mounting or supporting the module(s) in the chamber, so as to allow free circulation of the surrounding air. The thermal conduction of the mount or support shall be low, so that, for practical purposes, the module(s) is (are) thermally isolated.
- c) Means for measuring and recording the module temperature to an accuracy of ± 1 °C. (It is sufficient to monitor the temperature of one representative sample, if more than one module is being tested.)
- d) Means for monitoring, throughout the test, the continuity of the internal circuit of each module.

10.12.3 Procedure

- a) Attach a suitable temperature sensor to the front or back surface of the module(s) near the middle.
- b) Install the module(s) at room temperature in the climatic chamber.
- c) Connect the temperature monitoring equipment to the temperature sensor(s).
- d) After closing the chamber, subject the module(s) to 10 complete cycles in accordance with the profile in Figure 12. The maximum and minimum temperatures shall be within ± 2 °C of the specified levels and the relative humidity shall be maintained within ± 5 % of the specified value at all temperatures above room temperature.
- e) Throughout the test, record the module temperature.

10.12.4 Final measurements

After a recovery time between 2 h and 4 h, repeat the test of 10.3. Repeat the tests of 10.1 and 10.2.

10.12.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

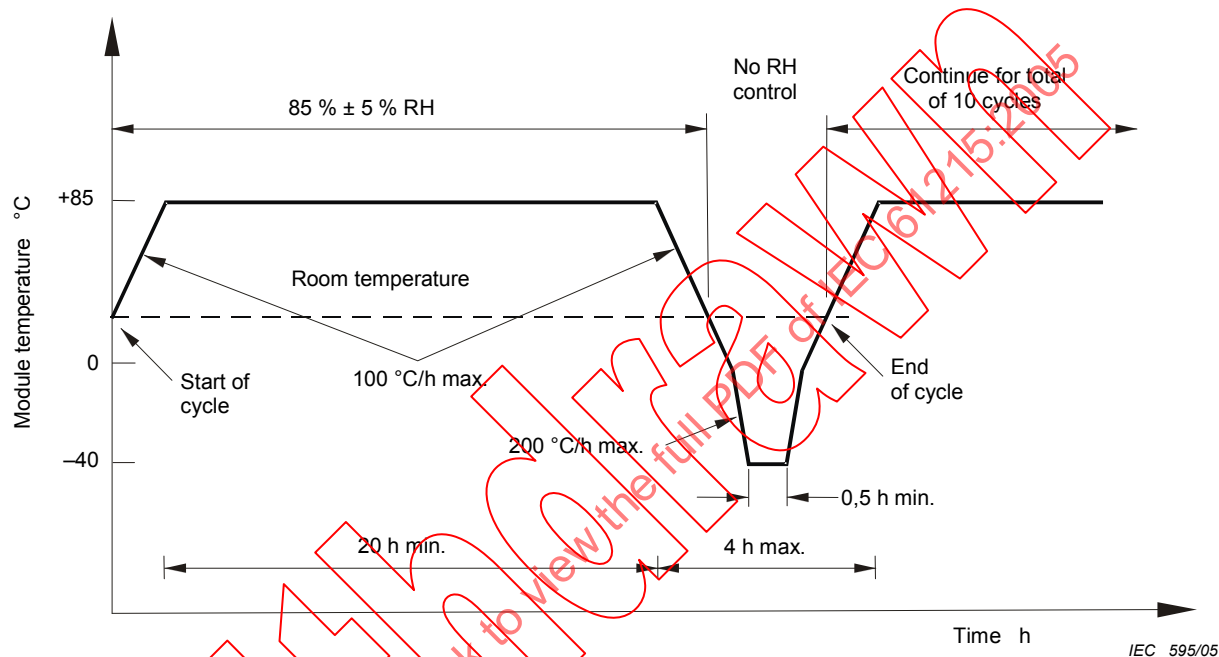


Figure 12 – Humidity-freeze cycle

10.13 Damp-heat test

10.13.1 Purpose

To determine the ability of the module to withstand the effects of long-term penetration of humidity.

10.13.2 Procedure

The test shall be carried out in accordance with IEC 60068-2-78 with the following provisions:

a) Preconditioning

The module(s), being at room temperature, shall be introduced into the chamber without preconditioning.

b) Severities

The following severities are applied:

Test temperature:	85 °C ± 2 °C
Relative humidity:	85 % ± 5 %
Test duration:	1 000 h.

10.13.3 Final measurements

After a recovery time between 2 h and 4 h, repeat the tests of 10.3 and 10.15. Repeat the tests of 10.1 and 10.2.

10.13.4 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- the insulation test and the wet leakage current test shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.14 Robustness of terminations test

10.14.1 Purpose

To determine that the terminations and the attachment of the terminations to the body of the module will withstand such stresses as are likely to be applied during normal assembly or handling operations.

10.14.2 Types of terminations

Three types of module terminations are considered:

- type A: wire or flying lead;
- type B: tags, threaded studs, screws, etc.;
- type C: connector.

10.14.3 Procedure

Preconditioning: 1 h at standard atmospheric conditions for measurement and test.

10.14.3.1 Type A terminations

Tensile test: as described in IEC 60068-2-21, test Ua, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- tensile force shall never exceed the module weight.

Bending test: as described in IEC 60068-2-21, test Ub, with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- method 1-10 cycles (1 cycle is 1 bend in each opposite direction).

10.14.3.2 Type B terminations

Tensile and bending tests:

- a) for modules with exposed terminals, each termination shall be tested as for type A terminations;

- b) if the terminations are enclosed in a protective box, the following procedure shall be applied:
- a cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the terminations inside the box using the manufacturer's recommended procedures. The cable shall be taken through the hole of the cable gland, taking care to utilize any cable clamp arrangement provided. The lid of the box shall be securely replaced. The module shall then be tested as for type A terminations.

Torque test: as described in IEC 60068-2-21, test Ud with the following provisions:

- all terminations shall be tested;
- severity 1.

The nuts or screws should be capable of being loosened afterwards unless they are specifically designed for permanent attachment.

10.14.3.3 Type C terminations

A cable of the size and type recommended by the module manufacturer, cut to a suitable length, shall be connected to the output end of the connector and the tests for type A terminations shall be carried out.

10.14.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.14.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of mechanical damage;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.15 Wet leakage current test

10.15.1 Purpose

To evaluate the insulation of the module under wet operating conditions and verify that moisture from rain, fog, dew or melted snow does not enter the active parts of the module circuitry, where it might cause corrosion, a ground fault or a safety hazard.

10.15.2 Apparatus

- a) A shallow trough or tank of sufficient size to enable the module with frame to be placed in the solution in a flat, horizontal position. It shall contain a water/wetting agent solution meeting the following requirements:
- | | |
|------------------|--|
| Resistivity: | 3 500 $\Omega \cdot \text{cm}$ or less |
| Surface tension: | 0,03 N·m ⁻¹ or less |
| Temperature: | 22 °C ± 3 °C |
- The depth of the solution shall be sufficient to cover all surfaces except junction box entries not designed for immersion.

- b) Spray equipment containing the same solution.
- c) DC voltage source, with current limitation, capable of applying 500 V or the maximum rated system voltage of the module, whichever is more.
- d) Instrument to measure insulation resistance.

10.15.3 Procedure

All connections shall be representative of the recommended field wiring installation and precautions shall be taken to ensure that leakage currents do not originate from the instrumentation wiring attached to the module.

- a) Immerse the module in the tank of the required solution to a depth sufficient to cover all surfaces except junction box entries not designed for immersion. The cable entries shall be thoroughly sprayed with solution. If the module is provided with a mating connector, the connector should be immersed during the test.
- b) Connect the shorted output terminals of the module to the positive terminal of the test equipment. Connect the liquid test solution to the negative terminal of the test equipment using a suitable metallic conductor.
- c) Increase the voltage applied by the test equipment at a rate not to exceed $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ to 500 V or the maximum system voltage for the module, whichever is greater. Maintain the voltage at this level for 2 min. Then determine the insulation resistance.
- d) Reduce the applied voltage to zero and short-circuit the terminals of the test equipment to discharge the voltage build-up on the module.

10.15.4 Requirements

The requirements are as follows:

- For modules with an area of less than $0,1 \text{ m}^2$ the insulation resistance shall be not less than $400 \text{ M}\Omega$.
- For modules with an area larger than $0,1 \text{ m}^2$ the measured insulation resistance times the area of the module shall be not less than $40 \text{ M}\Omega\cdot\text{m}^2$.

10.16 Mechanical load test

10.16.1 Purpose

The purpose of this test is to determine the ability of the module to withstand wind, snow, static or ice loads.

10.16.2 Apparatus

- a) A rigid test base which enables the modules to be mounted front-side up or front-side down. The test base shall enable the module to deflect freely during the load application.
- b) Instrumentation to monitor the electrical continuity of the module during the test.
- c) Suitable weights or pressure means that enable the load to be applied in a gradual, uniform manner.

10.16.3 Procedure

- a) Equip the module so that the electrical continuity of the internal circuit can be monitored continuously during the test.
- b) Mount the module on a rigid structure using the method prescribed by the manufacturer. (If there are different possibilities, use the worst one, where the distance between the fixing points is at maximum.)
- c) On the front surface, apply gradually a load corresponding to 2 400 Pa, spread uniformly. (This load may be applied pneumatically or by means of weights covering the entire surface. In the latter case, the module shall be mounted horizontally.) Maintain this load for 1 h.
- d) Apply the same procedure on the back surface of the module.
- e) Repeat steps c) and d) for a total of three cycles.

NOTE 2 400 Pa corresponds to a wind pressure of $130 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (approximately $\pm 800 \text{ Pa}$) with a safety factor of 3 for gusty winds. If the module is to be qualified to withstand heavy accumulations of snow and ice, the load applied to the front of the module during the last cycle of this test is increased from 2 400 Pa to 5 400 Pa.

10.16.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.16.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no intermittent open-circuit fault detected during the test;
- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.17 Hail test

10.17.1 Purpose

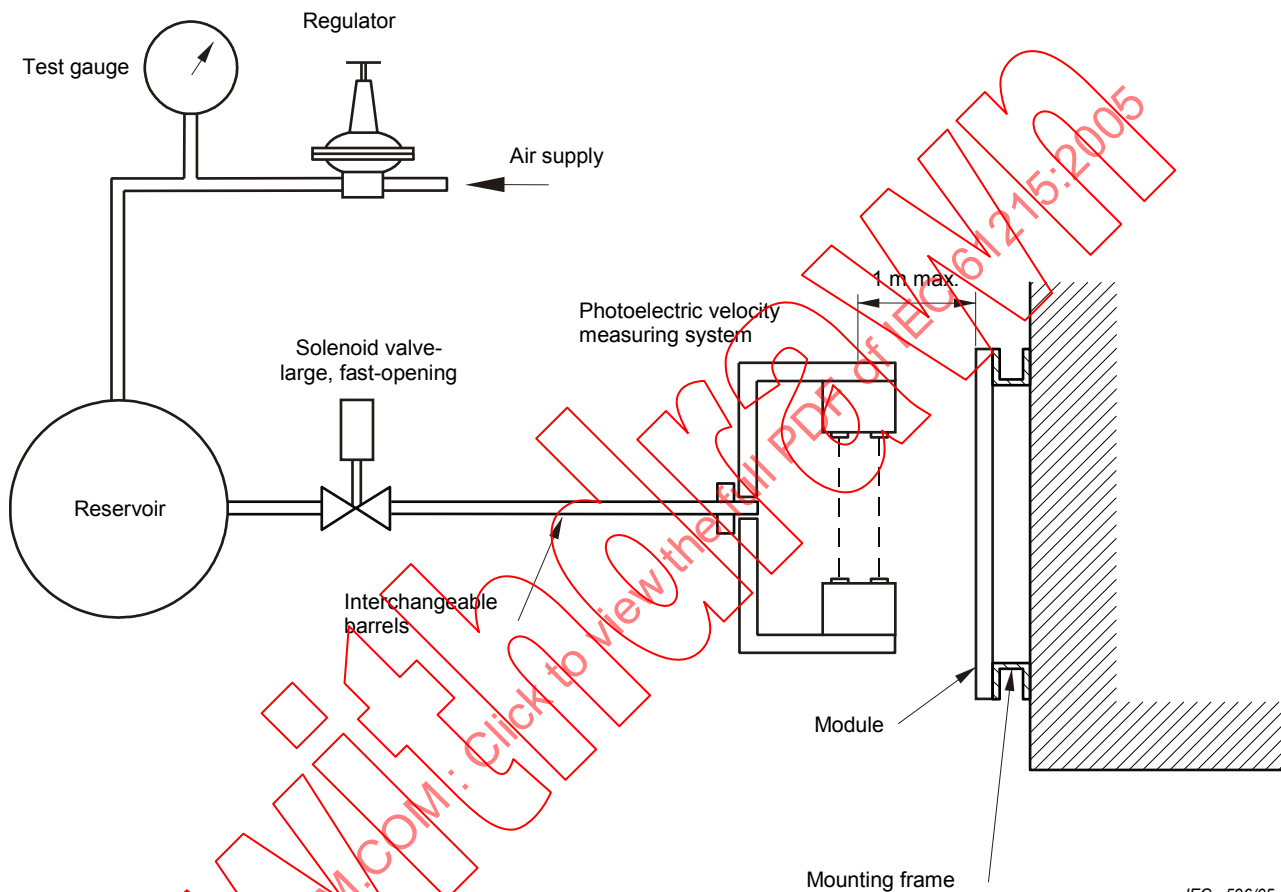
To verify that the module is capable of withstanding the impact of hailstones.

10.17.2 Apparatus

- a) Moulds of suitable material for casting spherical ice balls of the required diameter. The standard diameter shall be 25 mm but any of the other diameters listed in Table 2 may be specified for special environments.
- b) A freezer, controlled at $-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c) A storage container for storing the ice balls at a temperature of $-4 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) A launcher capable of propelling an ice ball at the specified velocity, within $\pm 5 \%$, so as to hit the module within the specified impact location. The path of the ice ball from the launcher to the module may be horizontal, vertical or at any intermediate angle, so long as the test requirements are met.
- e) A rigid mount for supporting the test module by the method prescribed by the manufacturer, with the impact surface normal to the path of the projected ice ball.

- f) A balance for determining the mass of an ice ball to an accuracy of $\pm 2\%$.
- g) An instrument for measuring the velocity of the ice ball to an accuracy of $\pm 2\%$. The velocity sensor shall be no more than 1 m from the surface of the test module.

As an example, Figure 13 shows in schematic form a suitable apparatus comprising a horizontal pneumatic launcher, a vertical module mount and a velocity meter which measures electronically the time it takes the ice ball to traverse the distance between two light beams. This is only one example as other types of apparatus including slingshots and spring driven testers have been successfully utilized.



IEC 596/05

Figure 13 – Hail-test equipment

Table 2 – Ice-ball masses and test velocities

Diameter mm	Mass g	Test velocity $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Diameter mm	Mass g	Test velocity $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

10.17.3 Procedure

- a) Using the moulds and the freezer, make sufficient ice balls of the required size for the test, including some for the preliminary adjustment of the launcher.
- b) Examine each one for cracks, size and mass. An acceptable ball shall meet the following criteria:
 - no cracks visible to the unaided eye;
 - diameter within ± 5 % of that required;
 - mass within ± 5 % of the appropriate nominal value in Table 2.
- c) Place the balls in the storage container and leave them there for at least 1 h before use.
- d) Ensure that all surfaces of the launcher likely to be in contact with the ice balls are near room temperature.
- e) Fire a number of trial shots at a simulated target in accordance with step g) below and adjust the launcher until the velocity of the ice ball, as measured with the velocity sensor in the prescribed position, is within ± 5 % of the appropriate hailstone test velocity in Table 2.
- f) Install the module at room temperature in the prescribed mount, with the impact surface normal to the path of the ice ball.
- g) Take an ice ball from the storage container and place it in the launcher. Take aim at the first impact location specified in Table 3 and fire. The time between the removal of the ice ball from the container and impact on the module shall not exceed 60 s.
- h) Inspect the module in the impact area for signs of damage and make a note of any visual effects of the shot. Errors of up to 10 mm from the specified location are acceptable.
- i) If the module is undamaged, repeat steps g) and h) for all the other impact locations in Table 3, as illustrated in Figure 14.

Table 3 – Impact locations

Shot No.	Location
1	A corner of the module window, not more than 50 mm from the frame
2	An edge of the module, not more than 12 mm from the frame
3,4	Over edges of cells, near an electrical joint
5,6	Over points of minimum spacing between cells
7,8	On the module window, not more than 12 mm from one of the points at which the module is fixed to the supporting structure
9,10	On the module window, at points farthest from the points selected above
11	Any points which may prove especially vulnerable to hail impact

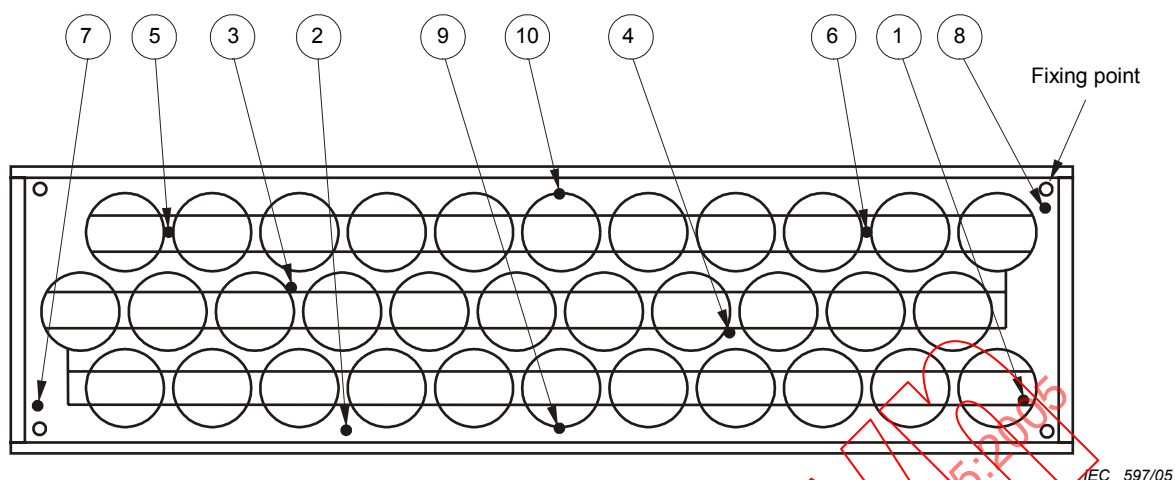


Figure 14 – Impact locations illustrated

10.17.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.17.5 Requirements

The requirements are as follows:

- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements.

10.18 Bypass diode thermal test

10.18.1 Purpose

To assess the adequacy of the thermal design and relative long-term reliability of the by-pass diodes used to limit the detrimental effects of module hot-spot susceptibility.

NOTE If the bypass diodes are not accessible in the module type under test, a special sample can be prepared for this test. This sample shall be manufactured as close as possible to the standard production modules under test, but with access to measure the temperature of the diode(s) during the test. The test shall then proceed as normal. This special test sample shall be used only for the bypass diode thermal test not for the other tests in the sequence.

10.18.2 Apparatus

- a) Means for heating the module to a temperature of $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- b) Means for measuring and recording the temperature of the module(s) to an accuracy of $\pm 1\text{ °C}$.
- c) Means for measuring the temperature of any bypass diodes provided with the module. Care should be taken to minimize any alteration of the properties of the diode or its heat transfer path.
- d) Means for applying a current equal to 1,25 times the STC short-circuit current of the module under test and means for monitoring the flow of current through the module, throughout the test.

10.18.3 Procedure

- a) Electrically short any blocking diodes incorporated in the module.
- b) Determine the rated STC short-circuit current of the module from its label or instruction sheet.
- c) Prepare to measure the temperature of the bypass diodes during the test.
- d) Connect wires of the manufacturer's minimum recommended wire gauge to the output terminals of the module. Follow the manufacturer's recommendations for wire entry into the wiring compartment and replace the wire compartment cover.

NOTE Some modules have overlapping bypass diode circuits. In this case it may be necessary to install a jumper cable to assure that all of the current is flowing through one bypass diode.

- e) Heat the module to $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Apply a current to the module equal to the short circuit current of the module as measured at STC $\pm 2\%$. After 1 h measure the temperature of each bypass diode. Using the information provided by the diode manufacturer calculate the junction temperature from the measured case temperature and the power dissipated in the diode using the following formula.

$$T_j = T_{\text{case}} + R_{\text{THjc}} \cdot U_D \cdot I_D$$

where

- T_j is the diode junction temperature;
- T_{case} is the measure diode case temperature;
- R_{THjc} is the manufacturer's value relating junction temperature to case temperature;
- U_D is the diode voltage;
- I_D is the diode current.

NOTE If the module contains a heat sink specifically designed to reduce the operating temperature of the diode, this test may be performed at the temperature the heat sink reaches under conditions of $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $43\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ ambient with no wind rather than at 75 °C .

- f) Increase the applied current to 1,25 times the short-circuit current of the module as measured at STC while maintaining the module temperature at $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Maintain the current flow for 1 h.
- g) Verify that the diode is still operational.

NOTE Diode operation can be verified by using the subsequent hot spot test (10.9).

10.18.4 Final measurements

Repeat the tests of 10.1, 10.2 and 10.3.

10.18.5 Requirements

The requirements are as follows:

- the diode junction temperature as determined in 10.18.3.e) shall not exceed the diode manufacturer's maximum junction temperature rating;
- no evidence of major visual defects, as defined in Clause 7;
- the degradation of maximum output power shall not exceed 5 % of the value measured before the test;
- insulation resistance shall meet the same requirements as for the initial measurements;
- the diode shall still function as a diode after the conclusion of the test.

Annex A (informative)

Changes in this second edition with respect to the first edition of IEC 61215

- a) Subclause 10.15 (Twist test) has been deleted.

This test was originally developed to assure compliance with a JPL designed mounting system. Test labs report that no module type has ever failed.

- b) A new subclause 10.15 (Wet leakage current test) has been included.

It is performed with the initial and final tests and within 2 h to 4 h of existing in the damp heat chamber.

This was a very important addition to IEC 61646. It identifies pin holes and small delimitations that cannot be seen by visual inspection.

- c) A new subclause 10.18 has been added. (Bypass diode thermal test)

Field failures of bypass diodes are often associated with overheating. This test determines how hot the bypass diode is likely to get under worst case conditions and compares that temperature to the diodes temperature rating

- d) In Clause 8 (Report) requirements per ISO/IEC 17025 have been added.

- e) Subclause 10.2 is now entitled Maximum power determination.

This allows the laboratory to select a set of conditions different from STC for the before and after measurements. This was done to increase repeatability and to minimize translation especially when measuring outdoors.

- f) Subclause 10.3 (Insulation test) has been modified so that the pass/fail criteria are to be dependent on the module area.

- g) In 10.4, an outdoor method is now included and reference is made to IEC 60904-10.

- h) In 10.5 the measurement of NOCT has been modified for clarification; a 45° tilt rather than latitude tilt is to be used.

- i) Subclause 10.6 is now entitled Performance at STC and NOCT since 10.2 is no longer restricted to STC.

- j) Subclause 10.10 is now entitled UV preconditioning test.

The exposure levels originally utilized are used and not those specified in IEC 61345.

- k) Subclause 10.11 (Thermal cycling test) and 10.12 (Humidity-freeze test) have been modified in order to eliminate the requirement to monitor for ground faults during the test. This was proposed by several test labs. They reported that this was a difficult requirement and that they had never observed a failure. It was felt that any short to ground would be observed in the subsequent dry insulation test or wet leakage current test.

- l) Subclause 10.11 (Thermal cycling test) has been modified in order to add a requirement for running peak power current through the module, when the module is above room temperature. This procedure was adopted to simulate an actual field failure that was not identified by thermal cycling without current flow, but caused failures with current flow. This is a realistic test as the module will be carrying currents during most hot sunny days.

- m) Subclause 10.12 (Humidity-freeze test) has been modified in order to eliminate the two chamber method. None of the major test labs are using a two chamber method and it was argued that the test severity would be considerably different if it were used.
 - n) Subclause 10.16 (Mechanical load test) has been modified in order to add a third cycle and to clarify the optional testing to a higher, snow load. The additional cycle was added due to reports of module failures occurring in the third cycle, which is required by the ASTM mechanical load test.
-

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61215:2005

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	50
1 Domaine d'application et objet	52
2 Références normatives	52
3 Echantillonnage	53
4 Marquage	53
5 Essais	54
6 Critères d'acceptation	54
7 Défauts visuels majeurs	54
8 Rapport	55
9 Modifications	58
10 Procédures d'essai	58
10.1 Examen visuel	58
10.2 Détermination de la puissance maximale	58
10.3 Essai diélectrique	59
10.4 Mesure des coefficients de température	60
10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)	63
10.6 Performance à STC et NOCT	71
10.7 Performance sous faible éclairage	72
10.8 Essai d'exposition en site naturel	73
10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé	74
10.10 Essai de préconditionnement pour les UV	79
10.11 Essai de cycle thermique	80
10.12 Essai humidité-gel	82
10.13 Essai de chaleur humide	83
10.14 Essai de robustesse des sorties	84
10.15 Essai de courant de fuite en milieu humide	85
10.16 Essai de charge mécanique	86
10.17 Essai à la grêle	87
10.18 Essai thermique de la diode dérivation	90
Annexe A (Informatif) Changements par rapport à la première édition de la CEI 61215	92
Figure 1 – Séquence d'essais de qualification	56
Figure 2 – Facteur de correction de NOCT	69
Figure 3 – Plaque de référence	70
Figure 4 – Mesure de la NOCT par la méthode de la plaque de référence	70
Figure 5 – Facteur de correction du vent	71
Figure 6 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A	74
Figure 7 – Caractéristiques inverses	75
Figure 8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B	75
Figure 9 – Cas SP: Connexion en série-parallèle	76

Figure 10 – Cas SPS: Connexion en série-parallèle-série	77
Figure 11 – Essai de cycle thermique	81
Figure 12 – Cycle humidité-gel	83
Figure 13 – Equipement pour l'essai à la grêle.....	88
Figure 14 – Localisation des points d'impact.....	90
Tableau 1 – Résumé des niveaux d'essai	57
Tableau 2 – Masses des billes de glace et vitesses d'essai	88
Tableau 3 – Localisation des impacts	89

Withdrawing
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61215:2005

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) AU SILICIUM CRISTALLIN POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61215 a été établie par le comité d'études 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 1993, dont elle constitue une révision technique.

Les principaux changements par rapport à la première édition (1993) sont donnés en Annexe A.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
82/376/FDIS	82/382/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

MODULES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) AU SILICIUM CRISTALLIN POUR APPLICATION TERRESTRE – QUALIFICATION DE LA CONCEPTION ET HOMOLOGATION

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale donne les exigences de la CEI sur la qualification de la conception et l'homologation de modules photovoltaïques pour application terrestre et pour une utilisation de longue durée dans les climats généraux d'air libre, définis dans la CEI 60721-2-1. Elle s'applique uniquement aux modules au silicium cristallin. Une norme pour les modules à couche mince a été publiée sous la référence CEI 61646.

La présente norme ne s'applique pas aux modules utilisés avec un ensoleillement intense.

L'objet de cette séquence d'essais est de déterminer les caractéristiques électriques et thermiques du module et de montrer autant que possible avec des contraintes de coût et de temps raisonnables, que le module est apte à supporter une exposition prolongée aux climats définis dans le domaine d'application. L'espérance de vie réelle des modules ainsi qualifiés dépendra de leur conception ainsi que de l'environnement et des conditions dans lesquels ils fonctionneront.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60068-2-21:1999, *Essais d'environnement – Partie 2-21: Essais – Essai U: Robustesse des sorties et des dispositifs de fixation*

CEI 60068-2-78:2001, *Essais d'environnement – Partie 2-78: Essais – Essai Cab: Chaleur humide, essai continu*

CEI 60410:1973, *Plans et règles d'échantillonnage pour les contrôles par attributs*

CEI 60721-2-1:1982, *Classification des conditions d'environnement – Partie 2: Conditions d'environnement présentes dans la nature – Température et humidité*

CEI 60891:1987, *Procédures pour la correction en fonction de la température et de l'éclairement à appliquer aux caractéristiques I-V mesurées des dispositifs photovoltaïques au silicium cristallin*
Amendement 1 (1992)

CEI 60904-1:1987, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 1: Mesures des caractéristiques courant-tension des dispositifs photovoltaïques*

CEI 60904-2:1989, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 2: Exigences relatives aux cellules solaires de référence*

CEI 60904-3:1989, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 3: Principes de mesure des dispositifs solaires photovoltaïques (PV) à usage terrestre incluant les données de l'éclairement spectral de référence*

CEI 60904-6:1994, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 6: Exigences relatives aux modules solaires de référence*

CEI 60904-7:1998, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 7: Calcul de l'erreur de désadaptation des réponses spectrales introduite dans les mesures de test d'un dispositif photovoltaïque*

CEI 60904-9:1995, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 9: Exigences pour le fonctionnement des simulateurs solaires*

CEI 60904-10:1998, *Dispositifs photovoltaïques – Partie 10: Méthodes de mesure de la linéarité*

CEI 61853: *Evaluation de la puissance et de l'énergie des modules photovoltaïques (PV)*¹

ISO/IEC 17025:1999, *Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

3 Echantillonnage

Huit modules pour les essais de qualification (plus le nombre de modules de rechange désiré) doivent être prélevés au hasard parmi un ou plusieurs lots de production, conformément à la procédure indiquée dans la CEI 60410. Les modules doivent avoir été fabriqués à partir de matériaux et de composants spécifiés, conformément aux schémas et aux procédures de fabrication correspondants et doivent avoir été soumis à l'inspection normale du constructeur et aux procédures du contrôle de la qualité et de l'acceptation de la production. Les modules doivent être dans leur intégrité, jusqu'au moindre détail, et doivent être accompagnés des instructions de manipulation, de montage et de raccordement fournies par le constructeur, incluant la tension maximale permise du système.

Si les diodes de dérivation ne sont pas accessibles dans les modules standards, un échantillonnage spécial peut être préparé pour l'essai thermique de la diode de dérivation (voir 10.18). Il convient que la diode de dérivation soit physiquement montée comme elle le serait sur un module standard, avec un capteur thermique placé sur la diode comme prescrit dans 10.18.2. L'échantillon ne doit pas subir d'autres essais dans la séquence décrite à la Figure 1.

Si les modules en essai sont des prototypes d'une nouvelle conception mais non issus d'une production, la mention doit en être faite dans le rapport d'essai (voir Article 8).

4 Marquage

Chaque module doit porter clairement et de manière indélébile les indications suivantes:

- nom, monogramme ou symbole du constructeur;
- type ou numéro du modèle;
- numéro de série;
- polarité des bornes de sorties ou des conducteurs (un code de couleur est autorisé);
- tension maximale de système pour laquelle le module est adéquat.

La date et le lieu de fabrication doivent être marqués sur le module ou déductibles à partir du numéro de série.

¹ A l'étude.

5 Essais

Avant de réaliser les essais, tous les modules, y compris la commande, doivent être exposés à la lumière du soleil (réelle ou simulée) à un niveau d'éclairement de $5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ à $5,5 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ tout en étant en circuit ouvert.

Les modules doivent être répartis en groupes et soumis aux séquences d'essais de qualification de la Figure 1, les essais étant effectués dans l'ordre établi. Chaque case fait référence au paragraphe correspondant de cette norme. Les sévérités et la procédure de l'essai en question incluant les mesures initiales et finales si nécessaires, sont détaillées à l'Article 10.

NOTE 1 Quand les mesures finales d'un essai servent comme mesures initiales pour l'essai suivant dans la séquence, elles n'ont pas besoin d'être répétées. Dans ces cas, les mesures initiales sont omises de l'essai.

En effectuant les essais, l'opérateur doit observer scrupuleusement les instructions de manipulation, de montage et de raccordement préconisées par le constructeur. Les essais donnés en 10.4, 10.5, 10.6 et 10.7 peuvent être omis si la future CEI 61853 a été ou est programmée pour fonctionner sur ce type de module.

Les conditions des essais sont résumées au Tableau 1.

NOTE 2 Les niveaux d'essai du Tableau 1 sont les niveaux minimaux exigés pour la qualification. Si le laboratoire et le constructeur du module se mettent d'accord, les essais peuvent être réalisés avec des sévérités augmentées.

6 Critères d'acceptation

Une conception de module doit être jugée comme satisfaisant aux essais de qualification et, par conséquent, d'un type approuvé par la CEI si chaque échantillon en essai remplit tous les critères suivants:

- a) la dégradation de la puissance maximale fournie n'excède ni la limite prescrite après chaque essai, ni 8 % après chaque séquence d'essais;
- b) aucun échantillon n'a présenté de circuit ouvert pendant les essais;
- c) il n'y a pas de défaut visuel majeur évident, comme ceux définis à l'Article 7;
- d) les exigences de l'essai diélectrique sont remplies après les essais;
- e) les exigences de l'essai de courant de fuite sont remplies au début et à la fin de chaque séquence et après l'essai de chaleur humide;
- f) les exigences spécifiques des essais individuels sont remplies.

Si deux modules ou plus ne remplissent pas ces critères, on doit considérer que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si un seul module est défectueux au cours d'un essai, deux autres modules remplissant les exigences de l'Article 3 doivent être soumis à l'intégralité, depuis le début, de la séquence d'essais correspondante. Si un ou les deux modules sont également défectueux, on doit considérer que la conception ne répond pas aux exigences de la qualification. Si, cependant, les deux modules subissent avec succès la séquence d'essais, on doit considérer que la conception répond aux exigences de la qualification.

7 Défauts visuels majeurs

Pour l'appréciation de la qualification de la conception et l'homologation d'un type, chacun des défauts suivants est considéré comme un défaut visuel majeur:

- a) surfaces externes cassées, fêlées, ou déchirées, y compris les supersubstrats, les substrats, les châssis et les boîtes de jonction;

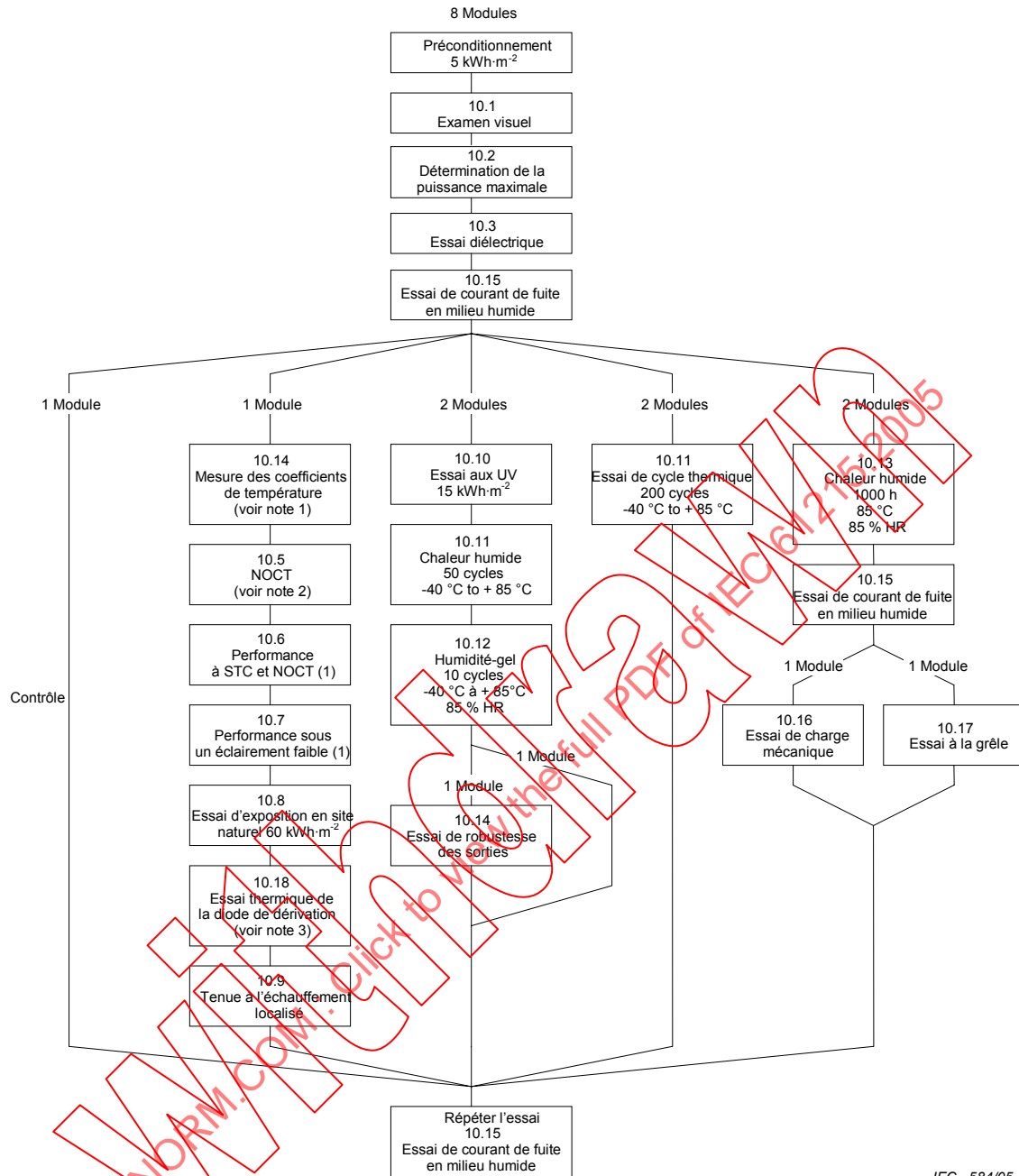
- b) surfaces externes pliées, désalignées y compris les supersubstrats, les substrats, les châssis et les boîtes de jonction, entraînant une détérioration de l'installation et/ou du fonctionnement du module;
- c) dans une cellule, une fêlure dont la propagation peut isoler plus de 10 % de la surface de la cellule du circuit électrique du module;
- d) bulles ou délaminations formant un chemin continu entre toute partie du circuit électrique et le bord du module;
- e) perte de l'intégrité mécanique entraînant une détérioration de l'installation et/ou du fonctionnement du module.

8 Rapport

Pour l'homologation de type, un rapport certifié des essais de qualification, incluant les résultats de mesure des caractéristiques de performance ainsi que les détails de chaque défaut et essai de reprise, doit être préparé par le laboratoire d'essais conformément à l'ISO/CEI 17025. Le rapport doit contenir la spécification particulière pour le module. Chaque certificat ou rapport d'essai doit inclure au moins les informations suivantes:

- a) un titre;
- b) nom et adresse du laboratoire d'essai et lieu où les essais ont été réalisés;
- c) identification unique de la certification ou du rapport et de chaque page;
- d) nom et adresse du client, s'il y a lieu;
- e) description et identification de l'unité soumise aux essais;
- f) caractérisation et condition de l'unité d'essai;
- g) date de réception de l'unité d'essai et date(s) de l'essai, s'il y a lieu;
- h) identification de la méthode d'essai utilisée;
- i) référence à la procédure d'échantillonnage, s'il y a lieu;
- j) tout écart par rapport à, tout complément à ou toute exclusion de la méthode d'essai, et toute autre information correspondant à un essai spécifique, telles que les conditions d'environnement;
- k) mesures, examens et résultats dérivés appuyés par des tableaux, des graphiques, des croquis et des photographies selon le cas, y compris les coefficients de température du courant de court-circuit, de la tension en circuit ouvert et de la puissance de crête, la NOCT, la puissance à NOCT, les STC, et le faible éclaircissement, le spectre de la lampe utilisée pour l'essai de présélection des UV, la perte de puissance maximale observée après l'ensemble des essais ainsi que tout défaut éventuellement observé;
- l) une indication de l'incertitude estimée des résultats d'essai (s'il y a lieu);
- m) une signature et un titre, ou une identification équivalente de la ou des personnes acceptant d'être responsables du contenu du certificat ou du rapport, et la date d'édition;
- n) s'il y a lieu, une indication doit être fournie selon laquelle les résultats ne se rapportent qu'aux unités soumises aux essais;
- o) une spécification indiquant que le certificat ou le rapport ne doivent pas être reproduits sauf dans leur totalité, sans l'approbation écrite du laboratoire.

Une copie de ce rapport doit être destinée au constructeur pour être utilisée en tant que référence.



IEC 584/05

NOTE 1 Peut être omis si la CEI 61853 a été réalisée.

NOTE 2 Dans le cas des modules non conçus pour être montés sur une structure dégagée, la NOCT peut être remplacée par la température de jonction de la cellule solaire moyenne d'équilibre dans l'environnement de référence normalisé, le module étant monté selon les recommandations du constructeur.

Figure 1 – Séquence d'essais de qualification

Tableau 1 – Résumé des niveaux d'essai

Essai	Titre	Conditions d'essai
10.1	Examen visuel	Voir la liste de contrôle détaillée en 10.1.2
10.2	Détermination de la puissance maximale	Voir la CEI 60904-1
10.3	Essai diélectrique	Tenue diélectrique à 1 000 V en courant continu + deux fois la tension maximale des systèmes pendant 1 min. Pour les modules dont la surface est inférieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 400 MΩ. Pour les modules dont la surface est supérieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à 40 MΩ m ² . La mesure est effectuée à 500 V ou à la tension maximale des systèmes, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée
10.4	Mesure des coefficients de température (Voir note 1)	Voir détails en 10.4 Voir la CEI 60904-10 à titre informatif.
10.5	Mesure de la NOCT (Voir note 1)	Eclairement solaire total: 800 W·m ⁻² Température ambiante: 20 °C Vitesse du vent: 1 m·s ⁻¹
10.6	Performance à STC et NOCT (Voir note 1)	Température de cellule: 25 °C et NOCT Eclairement: 1 000 et 800 W·m ⁻² et une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3
10.7	Performance sous faible éclairement (Voir note 1)	Température de cellule: 25 °C Eclairement: 200 W·m ⁻² et une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3
10.8	Essai d'exposition en site naturel	Eclairement solaire total: 60 kWh·m ⁻²
10.9	Essai de tenue à l'échauffement localisé	Exposition pendant 5 h à un éclairement de 1 000 W·m ⁻² dans les conditions de pire cas de l'échauffement localisé
10.10	Préconditionnement pour les UV	Eclairement total aux UV de 15 kWh·m ⁻² dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 280 nm et 385 nm avec un éclairement aux UV de 5 kWh·m ⁻² dans la gamme de longueur d'onde comprise entre 280 nm et 320 nm
10.11	Essai de cycle thermique	50 et 200 cycles de -40 °C à + 85 °C avec un courant de la puissance de crête en STC pendant 200 cycles
10.12	Essai humidité-gel	10 cycles de + 85 °C, 85 % HR à -40 °C
10.13	Essai de chaleur humide	1 000 h à + 85 °C, 85 % HR
10.14	Essai de robustesse des sorties	Selon la CEI 60068-2-21
10.15	Essai de courant de fuite en milieu humide	Voir détails en 10.15 Pour les modules dont la surface est inférieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 400 MΩ. Pour les modules dont la surface est supérieure à 0,1 m ² , la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à 40 MΩ m ² . A mesurer à 500 V ou à la tension maximale des systèmes, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée
10.16	Essai de charge mécanique	Trois cycles de charge uniforme de 2 400 Pa, appliqués pendant 1 h aux surfaces avant et arrière successivement. Charge de neige optionnelle de 5 400 Pa au cours du dernier cycle de montée.
10.17	Essai à la grêle	Bille de glace de 25 mm de diamètre à 23,0 m·s ⁻¹ , dirigée vers 11 points d'impact
10.18	Essai thermique de la diode by-pass	Une heure à I_{sc} et 75 °C Une heure à 1,25 fois I_{sc} et 75 °C

NOTE 1 Ces essais peuvent être omis si la future CEI 61853 a été établie selon ce type de module.

9 Modifications

Tout changement dans la conception, les matériaux, les composants ou la fabrication du module peut nécessiter la répétition d'une partie ou de tous les essais de qualification afin de conserver l'homologation du type.

10 Procédures d'essai

10.1 Examen visuel

10.1.1 Objet

L'objet de cette séquence d'essais est de détecter tout défaut visible du module.

10.1.2 Mode opératoire

Chaque module est examiné avec soin avec un éclairage supérieur ou égal à 1 000 lux pour les conditions suivantes:

- surfaces externes fêlées, pliées, désalignées ou déchirées;
- cellules cassées;
- cellules fêlées;
- interconnexions ou jonctions défectueuses;
- cellules touchant d'autres cellules ou le châssis;
- défauts de collage;
- bulles ou délaminations formant un chemin continu entre une cellule et le bord du module;
- surfaces collantes au toucher des matériaux plastiques;
- connexions défectueuses, parties électriques actives exposées;
- toute autre condition qui pourrait affecter les performances.

Un relevé et/ou une photographie doivent être faits sur la nature ou la position des fêlures, bulles ou délaminations, etc. qui peuvent s'aggraver et affecter défavorablement la performance du module lors des essais qui suivent.

10.1.3 Exigences

Des conditions d'aspect autres que les défauts visuels majeurs décrits dans l'Article 7 sont acceptables dans le but de l'homologation.

10.2 Détermination de la puissance maximale

10.2.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer la puissance maximale du module avant et après les divers essais d'environnement. La répétabilité de l'essai est le facteur le plus important.

10.2.2 Appareillage

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe B ou mieux, conformément à la CEI 60904-9).

- b) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6. Si un simulateur de classe B est utilisé, le dispositif de référence doit être un module de référence de la même taille avec la même technologie de cellule pour correspondre à la réponse spectrale.
- c) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- d) Un moyen de contrôler la température de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- e) Appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- f) Appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.

10.2.3 Mode opératoire

Déterminer la caractéristique courant-tension du module conformément à la CEI 60904-1 à un ensemble spécifique de conditions d'éclairement et de température (une gamme recommandée est une température de cellule comprise entre 25 °C et 50 °C et un éclairement compris entre 700 W·m⁻² et 1 100 W·m⁻²) en utilisant l'ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conformément aux prescriptions de la CEI 60904-9. Dans des circonstances particulières, lorsque les modules sont conçus pour fonctionner dans une gamme de conditions différente, les caractéristiques courant-tension peuvent être mesurées en utilisant les niveaux de température et d'éclairement similaires aux conditions de fonctionnement prévues. Les corrections de température et d'éclairement peuvent être faites conformément à la CEI 60891 afin de comparer des ensembles de mesures réalisés sur le même module avant et après les essais d'environnement. Cependant, il convient de s'efforcer d'assurer que les mesures de la puissance de crête sont réalisées dans des conditions de fonctionnement similaires, ce qui signifie minimiser l'amplitude de la correction en réalisant toutes les mesures de la puissance de crête sur un module particulier approximativement à la même température et au même éclairement. La répétabilité de la mesure de la puissance maximale doit être supérieure à ± 1 %.

NOTE Utiliser le module de commande comme vérification à chaque fois que les modules en essai sont mesurés.

10.3 Essai diélectrique

10.3.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer si le module est ou non suffisamment isolé, entre les éléments conducteurs et le châssis ou le monde extérieur.

10.3.2 Appareillage

- a) Une source de tension à courant continu disposant d'un limiteur de courant pouvant appliquer 500 V ou 1 000 V, à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système du module conformément à 10.3.4.c).
- b) Un appareil pour mesurer la résistance d'isolement.

10.3.3 Conditions d'essai

L'essai doit être effectué sur les modules à la température ambiante de l'atmosphère environnante (voir la CEI 60068-1) et à une humidité relative n'excédant pas 75 %.

10.3.4 Mode opératoire

- a) Les connexions de sortie du module sont mises en court-circuit et connectées au pôle positif d'un dispositif de mesure d'isolement à courant continu disposant d'un limiteur de courant.
- b) Le châssis du module est connecté au pôle négatif du dispositif de mesure. Si le module n'a pas de châssis ou si le châssis est un faible conducteur électrique, placer une plaque ou une feuille métallique autour des bords et sur l'arrière du module. La plaque est connectée au pôle négatif du dispositif de mesure.
- c) La tension délivrée par le dispositif de mesure est augmentée à raison de $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ au maximum jusqu'à une tension égale à une valeur de 1 000 V, à laquelle on ajoute deux fois la tension maximale du système (c'est-à-dire la tension maximale du système marquée sur le module par le constructeur). Dans le cas où la tension maximale du système n'excède pas 50 V, la tension appliquée doit être de 500 V. La tension est maintenue à cette valeur pendant 1 min.
- d) La tension appliquée est ramenée à zéro, puis le court-circuit des connexions de l'équipement d'essai est effectué afin de décharger la tension produite dans le module.
- e) Le court-circuit est enlevé.
- f) La tension délivrée par l'équipement d'essai est augmentée à raison de $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ au maximum jusqu'à une tension égale à 500 V ou la tension maximale du système pour le module, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée. La tension est maintenue à cette valeur pendant 2 min. La résistance d'isolement est ensuite mesurée.
- g) La tension appliquée est ramenée à zéro, puis le court-circuit des connexions de l'équipement d'essai est effectué afin de décharger la tension produite dans le module.
- h) Le court-circuit est enlevé et l'équipement d'essai est déconnecté du module.

NOTE Si le module n'a pas de châssis métallique ni de supersubstrat en verre, il convient que l'essai diélectrique soit répété avec la plaque métallique placée sur le devant du module comme dans le point b) du 10.3.4.

10.3.5 Exigences d'essai

Les exigences sont les suivantes:

- aucune rupture diélectrique ou claquage en surface pendant l'étape c);
- pour les modules dont la surface est inférieure à $0,1 \text{ m}^2$, la résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à $400 \text{ M}\Omega$;
- pour les modules dont la surface est supérieure à $0,1 \text{ m}^2$, la résistance d'isolement mesurée fois la surface du module ne doit pas être inférieure à $40 \text{ M}\Omega \text{ m}^2$.

10.4 Mesure des coefficients de température

10.4.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer les coefficients de température du courant (α), de la tension (β) et de la puissance de crête (δ) à partir de mesures effectuées sur un module. Les coefficients ainsi déterminés sont valables pour l'éclairement sous lequel les mesures ont été effectuées. Voir la CEI 60904-10 pour l'évaluation des coefficients de température du module à différents niveaux d'éclairement.

10.4.2 Appareillage

L'équipement suivant est requis pour contrôler et mesurer les conditions d'essai:

- a) une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou simulateur solaire de classe B ou mieux, conformément à la CEI 60904-9) du type à utiliser lors des essais qui suivent;

- b) un dispositif PV de référence ayant un courant de court-circuit connu par rapport à la caractéristique de rayonnement déterminée par l'étalonnage par rapport à un radiomètre absolu conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6;
- c) tout matériel nécessaire pour modifier la température d'une cellule dans l'éprouvette dans la gamme présentant un intérêt;
- d) un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans le même plan perpendiculaire au rayon radiant;
- e) un moyen de contrôler la température d'une cellule dans l'éprouvette et le dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C;
- f) appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture;
- g) appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.

10.4.3 Mode opératoire

Il y a deux procédures acceptables pour mesurer les coefficients de température.

10.4.3.1 Mode opératoire en ensoleillement naturel

- a) Les mesures en ensoleillement naturel doivent être réalisées uniquement si:
 - l'éclairement total est au moins aussi élevé que la limite supérieure de la gamme présentant un intérêt;
 - la variation d'éclairement due à des oscillations à court terme (nuages, brume ou fumée) est inférieure à ± 2 % de l'éclairement total mesuré par le dispositif de référence;
 - la vitesse du vent est inférieure à 2 m.s^{-1} .

- b) Fixer le dispositif de référence dans le même plan que le module en essai de telle sorte que tous les deux soient perpendiculaires au faisceau solaire direct à $\pm 5^\circ$. Effectuer les connexions à l'instrumentation nécessaire.

NOTE Il convient que les mesures décrites dans les paragraphes suivants soient faites aussi rapidement que possible en quelques heures le même jour pour minimiser les effets des changements dans les conditions spectrales. Si tel n'est pas le cas, des corrections spectrales peuvent être exigées.

- c) Si le module en essai et le dispositif de référence sont équipés de dispositifs de commande de la température, les dispositifs de commande doivent être ajustés au niveau désiré.
- d) Si les dispositifs de commande de la température ne sont pas utilisés, retirer le module en essai et le dispositif de référence du soleil et du vent jusqu'à ce que leur température soit uniforme à ± 1 °C de la température de l'air ambiant, ou laisser le module en essai se stabiliser à sa température d'équilibre ou encore refroidir le module en essai à une température inférieure à celle requise pour l'essai et enfin laisser le module se réchauffer naturellement. Il convient que le dispositif de référence se stabilise également à ± 1 °C de sa température d'équilibre avant de procéder à la mesure.
- e) Enregistrer la caractéristique courant-tension et la température du module en essai simultanément avec la température et le courant de court-circuit du dispositif de référence aux températures requises. Si nécessaire faire les mesures immédiatement après suppression de l'ombre.
- f) L'éclairement G_o doit être calculé conformément à la CEI 60891 à partir du courant mesuré (I_{sc}) du dispositif PV de référence, et de sa valeur d'étalonnage à STC (I_{rc}). Il convient qu'une correction soit appliquée pour prendre en compte la température du dispositif de référence T_m en utilisant le coefficient de température spécifié du dispositif de référence α_{rc} .

$$G_o = \frac{1000 \text{ Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25^\circ\text{C})]$$

où α_{rc} est le coefficient de température relative [$1/^\circ\text{C}$] à 25°C et $1\,000 \text{ W/m}^2$.

- g) Ajuster la température au moyen d'un contrôleur ou en exposant et en retirant alternativement le module en essai comme exigé pour atteindre et maintenir la température désirée. Sinon, le module en essai peut être autorisé à s'échauffer naturellement avec la procédure d'enregistrement des données du point d) réalisée périodiquement au cours de l'échauffement.
- h) S'assurer que les températures du module en essai et du dispositif de référence sont stabilisées et restent constantes à $\pm 1^\circ\text{C}$ et que l'éclairement mesuré par le dispositif de référence reste constant à $\pm 1\%$ au cours des périodes d'enregistrement de données. Toutes les données doivent être relevées à $1\,000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ou être traduites à ce niveau d'éclairement.
- i) Répéter les étapes d) à h). Les températures du module doivent être telles que la gamme présentant un intérêt soit d'au moins 30°C et que cela s'étende à au moins quatre incréments environ égaux. Un minimum de trois mesures doit être réalisé à chacune des conditions d'essai.

10.4.3.2 Mode opératoire avec un simulateur solaire

- a) Déterminer le courant de court-circuit du module pour l'éclairement désiré, à température ambiante, conformément à la CEI 60904-1.
- b) Installer le module en essai dans l'étuve, et un dispositif approprié de contrôle de l'éclairement à l'extérieur de l'étuve dans l'axe du faisceau du simulateur. Effectuer les connexions à l'instrumentation.
- c) Ajuster l'éclairement de façon que le module en essai délivre le courant de court-circuit déterminé à l'étape a). Utiliser le contrôleur d'éclairement pour maintenir cette valeur d'éclairement pendant toute la durée de l'essai.
- d) Chauffer ou refroidir le module jusqu'à une température utile. Une fois que la température du module s'est stabilisée, mesurer I_{sc} , V_{oc} et la puissance de crête. Changer la température du module par paliers d'environ 5°C dans une gamme présentant un intérêt d'au moins 30°C , et répéter les mesures de I_{sc} , V_{oc} et de la puissance de crête.

NOTE La caractéristique courant-tension complète peut être mesurée à chaque température pour déterminer la variation de température en tension à la puissance de crête et en courant à la puissance de crête.

10.4.3.3 Calcul des coefficients de température

- a) Tracer les valeurs de I_{sc} , V_{oc} et P_{max} en fonction de la température et construire, par la méthode des moindres carrés, la courbe passant par chaque groupe de données.
- b) A partir des pentes des lignes droites de la méthode des moindres carrés pour le courant, la tension et P_{max} , calculer α , le coefficient de température du courant de court-circuit, β , le coefficient de température de la tension en circuit ouvert, et δ , le coefficient de température de P_{max} , pour le module.

NOTE 1 Voir la CEI 60904-10 pour déterminer si les modules en essai peuvent être considérés comme étant des dispositifs linéaires.

NOTE 2 Les coefficients de température mesurés dans cette procédure ne sont valables qu'au niveau d'éclairement auquel ils ont été mesurés. Les coefficients de température relative exprimés en pourcentages peuvent être déterminés en divisant les α , β , et δ calculés par les valeurs de courant, tension et puissance de crête à 25°C .

NOTE 3 Du fait que le coefficient de remplissage du module est fonction de la température, il n'est pas suffisant d'utiliser le produit de α et β comme le coefficient de température de la puissance de crête.

10.5 Mesure de la température nominale d'utilisation des cellules (NOCT)

10.5.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer la NOCT d'un module.

10.5.2 Introduction

La température nominale d'utilisation des cellules (NOCT) est définie comme étant la température de jonction moyenne des cellules solaires à l'équilibre, pour un module monté sur une structure dégagée dans l'environnement de référence normalisé (SRE) suivant:

- angle d'inclinaison: angle de 45° à partir de l'horizontale
- éclairement total: 800 W·m⁻²
- température ambiante: 20 °C
- vitesse du vent: 1 m·s⁻¹
- charge électrique: aucune (circuit ouvert).

NOCT peut être utilisée par le concepteur du système comme une indication de la température de fonctionnement du module sur site, et, par conséquent, est un paramètre utile pour comparer les performances de modules de conceptions différentes. Cependant, à chaque instant, la température réelle de fonctionnement est affectée par la structure du montage, l'éclairement, la vitesse du vent, la température ambiante, la température de couleur du ciel, les émissions et réflexions du sol et des objets proches. Pour des prévisions précises de performance, ces facteurs doivent être pris en compte.

Ce document décrit deux méthodes pour déterminer NOCT.

La première, nommée «la méthode primaire», est universellement applicable à tous les modules photovoltaïques. Dans le cas des modules non conçus pour être montés sur une structure dégagée, cette méthode primaire peut être utilisée pour déterminer la température de jonction moyenne des cellules solaires, à l'équilibre, dans le SRE, le module étant monté suivant les recommandations du constructeur.

La seconde, nommée «la méthode de la plaque de référence», est plus rapide mais applicable seulement aux modules photovoltaïques du type qui répond aux variations de température ambiante (dans une gamme restreinte de vitesse de vent et d'éclairement) de la même façon que les plaques de référence utilisées pour la mesure. Les modules en silicium cristallin avec la face avant en verre et la face arrière en plastique appartiennent à cette catégorie. Les plaques de référence sont étalonnées selon la même procédure que celle utilisée pour la méthode primaire.

10.5.3 Méthode primaire

10.5.3.1 Principe

Cette méthode est basée sur l'acquisition de résultats de mesures directes de la température de cellule dans une gamme de conditions d'environnement incluant le SRE. Les résultats sont présentés de telle sorte qu'ils permettent une interpolation précise et reproductible de la valeur de NOCT.

La température de jonction d'une cellule solaire (T_J) est principalement fonction de la température ambiante (T_{amb}), de la vitesse moyenne du vent (V) et de l'éclairement solaire total (G) incident sur la surface active du module. La différence de température ($T_J - T_{amb}$) est largement indépendante de la température ambiante et est essentiellement proportionnelle linéairement à l'éclairement pour des niveaux d'éclairement supérieurs à 400 W·m⁻².

La procédure consiste à tracer $(T_J - T_{amb})$ en fonction de G pour une période en conditions de vent favorables. Une valeur préliminaire de NOCT est ainsi déterminée en ajoutant 20 °C à la valeur de $(T_J - T_{amb})$ obtenue après interpolation à l'éclairement du SRE défini à 800 W·m⁻². Enfin, un facteur correctif, dépendant de la température ambiante moyenne et de la vitesse du vent durant la période d'essai, est ajouté à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à 20 °C et 1 m·s⁻¹.

10.5.3.2 Appareillage

L'équipement suivant est requis:

- a) une structure dégagée pour maintenir le ou les modules en essai et les pyranomètres dans les conditions spécifiées (voir 10.5.3.3). La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de chaleur dégagée par les modules et pour interférer aussi peu que possible avec le libre rayonnement de chaleur provenant de leurs surfaces avant et arrière;
NOTE Si les modules ne sont pas conçus pour être installés sur une structure dégagée, il convient que le ou les modules en essai soient installés selon les recommandations du constructeur.
- b) un pyranomètre, installé dans le plan du ou des modules et à 0,3 m du champ d'essai;
- c) des instruments pour mesurer la vitesse du vent jusqu'à 0,25 m·s⁻¹ ainsi que la direction du vent, installés à environ 0,7 m au-dessus du bord supérieur du ou des modules et à environ 1,2 m vers l'est ou l'ouest;
- d) un capteur de température ambiante ayant une constante de temps égale ou inférieure à celle du ou des modules, installé dans une enceinte obscure bien ventilée, près des capteurs de vent;
- e) des capteurs de température de cellule, maintenus par soudure ou par un adhésif conducteur thermique aux faces arrières de deux cellules solaires situées près du milieu de chaque module en essai, ou bien tout autre équipement nécessaire pour la mesure de la température d'une cellule par une méthode approuvée par la CEI;
- f) un système d'acquisition des données avec une précision de mesure de la température de ± 1 °C pour enregistrer les paramètres suivants à des intervalles inférieurs ou égaux à 5 s:
 - éclairement;
 - température ambiante;
 - température de cellule;
 - vitesse du vent;
 - direction du vent.

10.5.3.3 Installation du module en essai

Angle d'inclinaison: le ou les modules en essai doivent être mis en place de telle façon qu'ils soient inclinés à $45^\circ \pm 5^\circ$ par rapport à l'horizontale avec la partie avant dirigée vers l'équateur.

Hauteur: le bord inférieur du ou des modules en essai doit être à au moins 0,6 m au-dessus du niveau du sol ou du plan horizontal d'essai.

Configuration: pour simuler les conditions thermiques limites des modules installés sur un champ, le ou les modules en essai doivent être montés sur une surface plane qui s'étende à au moins 0,6 m dans toutes les directions autour du ou des modules. Pour les modules conçus pour un montage libre dans des installations à structure arrière dégagée, des plaques en aluminium noir ou d'autres modules de la même conception doivent être utilisés pour couvrir l'aire non recouverte de la surface plane.

Aire environnante: il ne doit y avoir aucune obstruction empêchant l'éclairement total du ou des modules en essai pendant la période comprise entre 4 h avant midi solaire local et 4 h après midi solaire local. Le sol autour du ou des modules ne doit pas permettre de réflexion solaire anormalement élevée et doit être plat et de niveau ou en pente descendante dans toutes les directions par rapport à l'appareillage d'essai. De l'herbe, ou tout autre type de végétation, de l'asphalte noir ou de la boue sont acceptables sur la surface environnante locale.

10.5.3.4 Mode opératoire

- a) Mettre en place l'équipement et le ou les modules en essai comme décrit en 10.5.3.3. S'assurer que le ou les modules en essai sont en circuit ouvert.
- b) Par une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé et un vent faible, enregistrer en fonction du temps les températures des cellules, la température ambiante, l'éclairement, la vitesse du vent et sa direction.
- c) Rejeter toutes les données qui ont été relevées dans les conditions suivantes:
 - éclairement inférieur à $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - pendant une période de 10 min suivant une variation de l'éclairement de plus de 10 % de la valeur maximale à la valeur minimale enregistrée au cours de cette période de 10 min;
 - vitesses du vent en dehors de la gamme $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - températures ambiantes en dehors de la gamme $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ ou variant de plus de 5°C de la valeur maximale à la valeur minimale enregistrée au cours du relevé d'un ensemble de données;
 - pendant une période de 10 min suivant un coup de vent de plus de $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - direction du vent dans un angle de $\pm 20^\circ$ par rapport à l'est ou à l'ouest.
- d) A partir d'au moins 10 points de données acceptables, couvrant une gamme d'éclairement d'au moins $300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, s'assurer que les points de données proviennent à la fois d'avant et après midi solaire, tracer $(T_J - T_{\text{amb}})$ en fonction de l'éclairement. Utiliser l'analyse par régression pour ajuster les points de données.
- e) Déterminer la valeur de $(T_J - T_{\text{amb}})$ à $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ et ajouter 20°C à cette valeur pour obtenir la valeur préliminaire de NOCT.
- f) Calculer la température ambiante moyenne, T_{amb} , et la vitesse moyenne du vent, V , associées aux points de données acceptables, et déterminer le facteur correctif approprié à partir de la Figure 2.
- g) Ajouter le facteur correctif à la valeur préliminaire de NOCT pour obtenir la valeur de NOCT corrigée à 20°C et $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Cette somme est la NOCT du module.
- h) Répéter la procédure entière pendant deux jours supplémentaires et faire la moyenne des trois valeurs de NOCT pour chaque module en essai.

10.5.4 Méthode de la plaque de référence

10.5.4.1 Principe

Cette méthode est basée sur le principe de la comparaison de la température du ou des modules en essai avec celle des plaques de référence (étalon) dans les mêmes conditions d'éclairement, de température ambiante et de vitesse de vent. La température, à l'équilibre, de la plaque de référence dans des conditions du SRE est déterminée par la méthode primaire décrite en 10.5.3.

La NOCT du module en essai est obtenue en corrigeant la différence de température entre le module en essai et les plaques de référence pour la ramener aux conditions du SRE et en additionnant cette valeur obtenue à la température moyenne, à l'équilibre, des plaques de référence, dans les conditions de SRE. Il a été établi que la différence de température mesurée est insensible aux fluctuations de l'éclairement et aux faibles variations de la température ambiante et de la vitesse du vent.

10.5.4.2 Plaque de référence

Les plaques de référence doivent être faites en alliage d'aluminium dur aux dimensions indiquées sur la Figure 3. La surface avant doit être peinte en noir mat et la surface arrière en blanc brillant. Des moyens doivent être fournis pour mesurer la température des plaques de référence avec la précision requise. Une méthode utilisant deux thermocouples est illustrée à la Figure 3. Un thermocouple est maintenu, dans chaque branche des rainures fraisées, à l'aide d'un adhésif conducteur thermique et isolant électrique, après que tout isolant a été retiré sur une distance de 25 mm à partir du point de jonction. La partie restante des fils du thermocouple est finalement maintenue dans la rainure avec du mastic conducteur.

Au moins trois plaques de référence doivent être fabriquées et étalonnées par la méthode primaire décrite en 10.5.3. Les températures d'équilibre ainsi déterminées doivent être dans la gamme 46 °C à 50 °C et ne doivent pas différer de plus de 1 °C entre elles. Une de ces plaques de référence doit être inutilisée et gardée comme plaque de contrôle. Avant une mesure de NOCT, les températures d'équilibre des plaques de référence doivent être enregistrées et comparées avec celle de la plaque de contrôle dans les conditions dites acceptables, définies au point c) de 10.5.3.4, afin de détecter un quelconque changement de leurs propriétés thermiques. Si les températures mesurées des plaques de référence diffèrent de plus de 1 °C, rechercher quelle en est la raison et apporter les corrections nécessaires avant de continuer l'essai.

10.5.4.3 Site d'essai

Choisir un site d'essai plat avec perturbation éolienne provenant des bâtiments, arbres et reliefs topographiques négligeables. Éviter les réflexions solaires non uniformes venant du sol ainsi que des objets placés derrière le plan d'essai.

10.5.4.4 Appareillage

L'équipement suivant est requis (voir Figure 4).

- a) Un nombre de plaques de référence, comme celles définies en 10.5.4.2 (une de plus que le nombre de modules en essai simultanément).
- b) Un pyranomètre ou dispositif photovoltaïque de référence.
- c) Une structure dégagée pour maintenir le ou les modules en essai, des plaques de référence et un pyranomètre inclinés de $45^\circ \pm 5^\circ$ par rapport à l'horizontale avec la partie avant dirigée vers l'équateur. Chaque module doit être encadré étroitement par deux plaques de référence, le bord inférieur du ou des modules étant approximativement à 1 m au-dessus du sol. La structure doit être conçue pour minimiser la conduction de chaleur dégagée par le ou les modules et les plaques ainsi que pour interférer aussi peu que possible avec le rayonnement libre venant de leurs faces avant et arrière.
- d) Des instruments pour mesurer la vitesse du vent jusqu'à $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ainsi que la direction du vent, installés à environ 0,7 m au-dessus du bord supérieur du ou des modules et à environ 1,2 m vers l'est ou l'ouest, comme illustré à la Figure 4.
- e) Un capteur de température ambiante ayant une constante de temps proche de celle des modules, installée dans une enceinte bien ventilée, près des capteurs de vent.

- f) Des capteurs de température de cellule, maintenus par soudure ou par un adhésif conducteur thermique aux faces arrières de deux cellules solaires situées au centre de chaque module en essai, ou bien tout autre équipement nécessaire pour la mesure de la température d'une cellule par une méthode approuvée par la CEI.
- g) Un système d'acquisition des données avec une précision de mesure de la température de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour enregistrer les paramètres suivants à des intervalles inférieurs ou égaux à 5 s:
 - éclairement;
 - température ambiante;
 - température de cellule;
 - vitesse du vent;
 - direction du vent;
 - températures des plaques de référence.

10.5.4.5 Mode opératoire

- a) Mettre en marche l'équipement ainsi que le ou les modules en essai et les plaques de référence comme décrit à la Figure 4. S'assurer que le ou les modules en essai sont en circuit ouvert.
- b) Par une journée ensoleillée, avec un ciel dégagé et vent faible, enregistrer en fonction du temps la température de cellule du ou des modules en essai, les températures des plaques de référence, l'éclairement, la température ambiante, la vitesse du vent et sa direction.
- c) Rejeter toutes les valeurs qui ont été relevées pendant que (ou sur une période de 15 min après que) les conditions ci-après ont été observées.
 - éclairement inférieur à $750\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ou supérieur à $850\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$;
 - l'éclairement varie de plus de $\pm 40\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ au cours du relevé d'un ensemble de données;
 - vitesses du vent supérieures à $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ de façon continue pendant plus de 30 s;
 - vitesses du vent inférieures à $0,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 - direction du vent dans un angle de $\pm 20^{\circ}$ par rapport à l'est ou à l'ouest;
 - différence entre les températures des plaques de référence supérieure à $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- d) Pour chaque point de données retenu, prendre la température moyenne T_P de toutes les plaques de référence.
- e) Pour chaque point de données retenu et pour chaque module en essai:
 - 1) prendre la température moyenne de cellule T_J et calculer:

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

Si ΔT_{JP} varie de plus de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, la méthode de la plaque de référence n'est pas applicable et la méthode primaire décrite en 10.5.3 doit être utilisée.

- 2) Calculer la moyenne de toutes les valeurs de ΔT_{JP} pour obtenir ΔT_{JPm} .
- 3) Corriger ΔT_{JPm} aux conditions de SRE de la façon suivante:

$$\Delta T_{JPm}(\text{corrigé}) = (f\zeta R) \cdot \Delta T_{JPm}(\text{non corrigé})$$

où

- f , le facteur de correction de l'éclairement est égal à 800 divisé par l'éclairement moyen sur la période sélectionnée;
- ζ , le facteur de correction de la température ambiante est obtenu à partir de la température ambiante moyenne T_{amb} sur la période sélectionnée en utilisant le tableau suivant (une interpolation linéaire pour les valeurs de ζ est acceptable).

T_{amb} °C	ζ
0	1,09
10	1,05
20	1,00
30	0,96
40	0,92
50	0,87

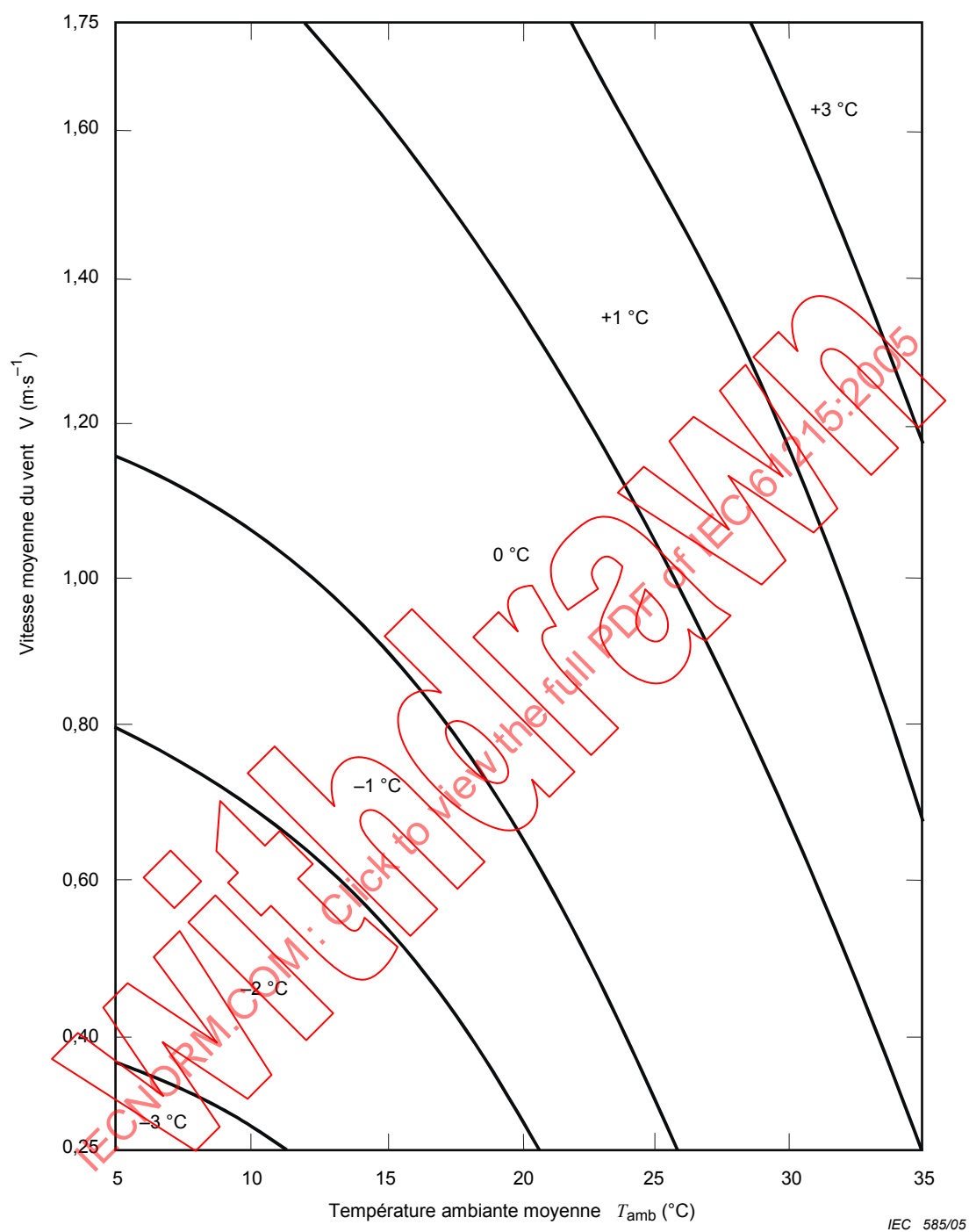
R , le facteur de correction du vent est obtenu à partir de la vitesse moyenne du vent sur la période sélectionnée, en utilisant le graphe de la Figure 5.

4) Calculer la NOCT du module en essai comme suit:

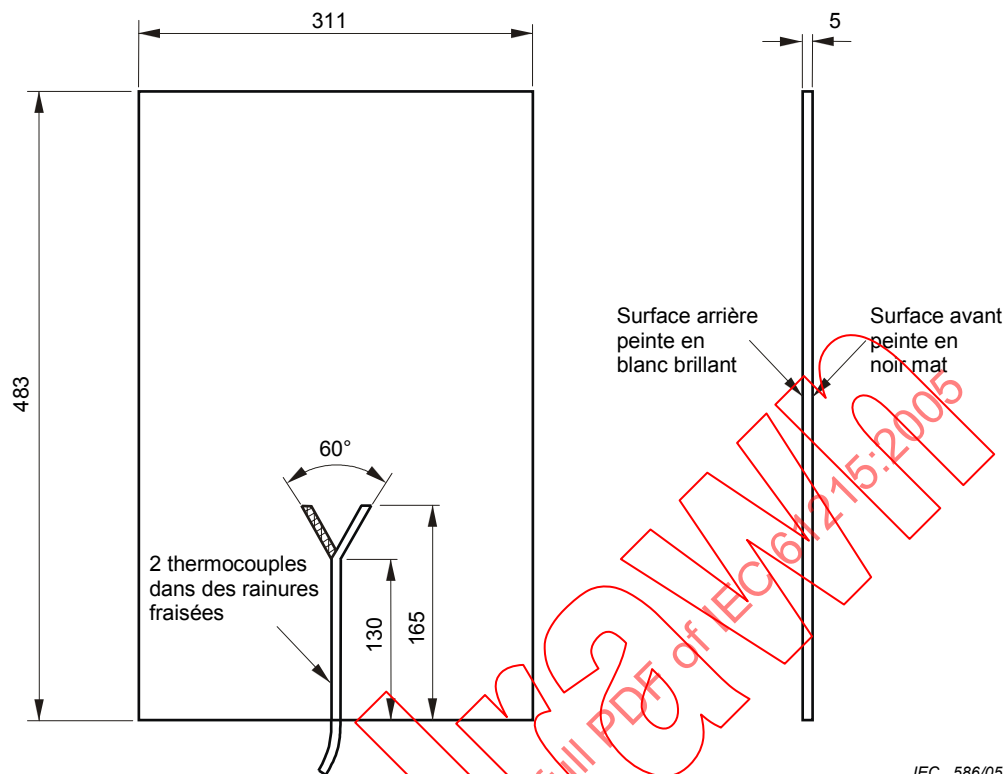
$$NOCT = T_{PR} + \Delta T_{JPm} \text{ (corrigé)}$$

T_{PR} étant la température moyenne, à l'équilibre, des plaques de référence dans les conditions de SRE.

f) Répéter la procédure entière pendant deux jours supplémentaires et faire la moyenne des trois valeurs de NOCT pour chaque module en essai.

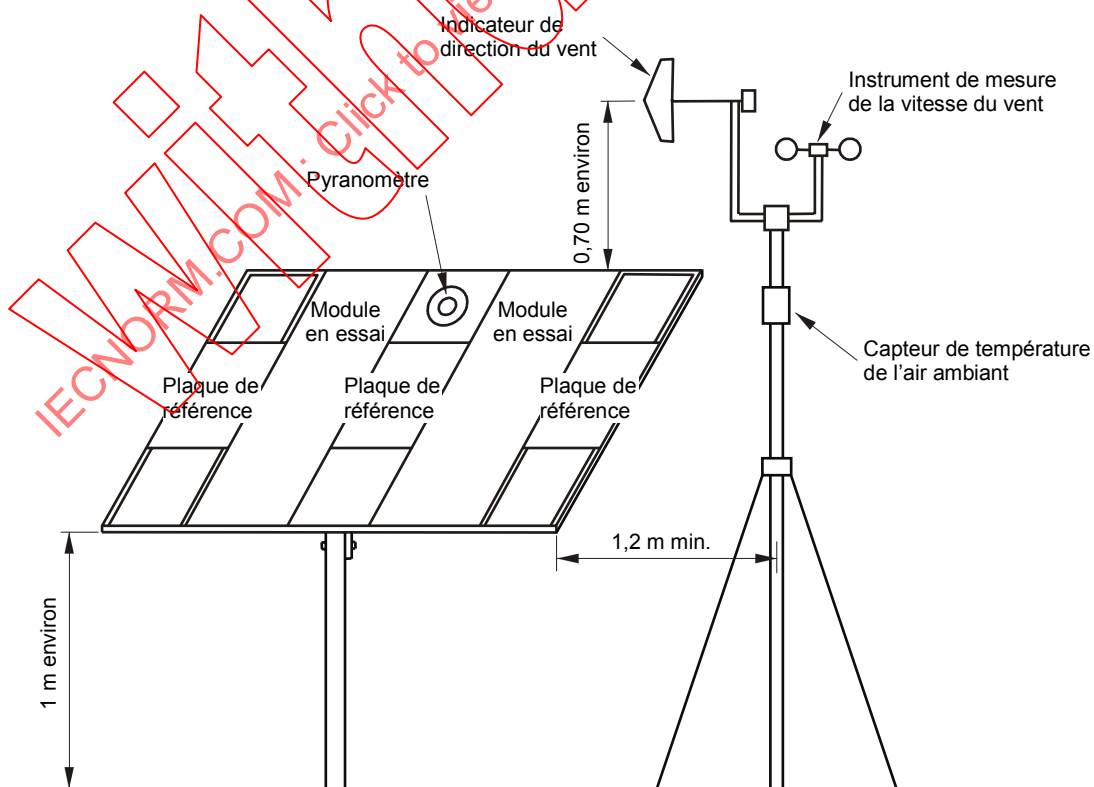
**Figure 2 – Facteur de correction de NOCT***Dimensions en millimètres*

Dimensions en millimètres



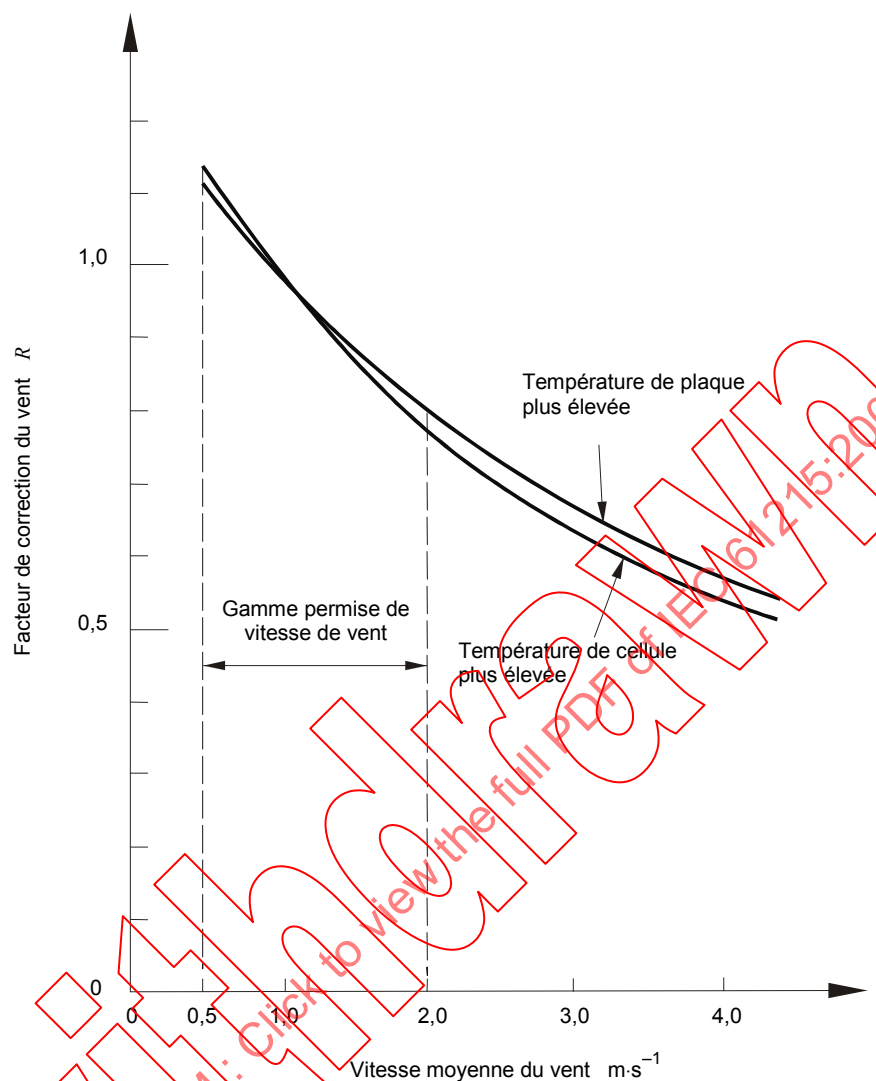
IEC 586/05

Figure 3 – Plaque de référence



IEC 587/05

Figure 4 – Mesure de la NOCT par la méthode de la plaque de référence



IEC 588/05

Figure 5 – Facteur de correction du vent

10.6 Performance à STC et NOCT

10.6.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à STC ($1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, température de cellule de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, avec une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3) et à NOCT et à un éclairement de $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, avec une répartition d'éclairement spectral solaire de référence selon la CEI 60904-3.

10.6.2 Appareillage

- Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe B ou mieux) conformément à la CEI 60904-9.
- Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6. Si un simulateur de classe B est utilisé, le dispositif de référence doit être un module de référence de la même taille avec la même technologie de cellule pour correspondre à la réponse spectrale.

- c) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- d) Un moyen de contrôler la température de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- e) Appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- f) Appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- g) Appareil nécessaire pour modifier la température de l'éprouvette en température de NOCT mesurée en 10.5.

10.6.3 Mode opératoire

10.6.3.1 STC

Maintenir le module à 25 °C et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairement de $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.6.3.2 NOCT

Chauffer le module uniformément jusqu'à atteindre sa NOCT et tracer sa caractéristique courant-tension sous un éclairement de $800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

Si le spectre du dispositif de référence n'est pas adapté au module en essai, utiliser la CEI 60904-7 pour calculer la correction de désadaptation des réponses spectrales.

10.7 Performance sous faible éclairement

10.7.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer comment varient les performances électriques du module sous charge à 25 °C, sous un éclairement de $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté) selon la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9.

10.7.2 Appareillage

- a) Une source de rayonnement (ensoleillement naturel ou un simulateur solaire de classe B ou mieux) conformément à la CEI 60904-9.
- b) Appareil nécessaire pour changer l'éclairement en $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ sans affecter la répartition d'éclairement spectral relatif et l'uniformité spatiale conformément à la CEI 60904-10.
- c) Un dispositif PV de référence conformément à la CEI 60904-2 ou à la CEI 60904-6.
- d) Un support approprié pour maintenir l'éprouvette et le dispositif de référence dans un plan perpendiculaire au rayon radiant.
- e) Un moyen de contrôler la température de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de ± 1 °C et une répétabilité de $\pm 0,5$ °C.
- f) Appareil pour mesurer le courant de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.
- g) Appareil pour mesurer la tension de l'éprouvette et du dispositif de référence avec une précision de $\pm 0,2$ % de la lecture.

10.7.3 Mode opératoire

Déterminer la caractéristique courant-tension du module à $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à un éclairement de $200\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (mesuré par un dispositif de référence adapté), conformément à la CEI 60904-1, en utilisant un ensoleillement naturel ou un simulateur de classe B ou mieux conforme aux exigences de la CEI 60904-9. L'éclairement doit être réduit au niveau spécifié en utilisant des filtres neutres ou toute autre technique qui ne modifie pas la répartition d'éclairement spectral. (Voir la CEI 60904-10 à titre informatif concernant la réduction de l'éclairement sans modifier la répartition d'éclairement spectral.)

10.8 Essai d'exposition en site naturel

10.8.1 Objet

L'objet de cet essai est de faire une évaluation préliminaire de la capacité d'un module à supporter une exposition dans des conditions de site naturel et de révéler les effets d'une dégradation synergétique qui ne pourraient pas être détectés par des essais effectués en laboratoire.

NOTE Il y a lieu que tout jugement absolu sur la durée de vie d'un module ayant satisfait à cet essai soit considéré avec prudence parce que l'essai est de courte durée et les conditions d'environnement sont variées. Il convient d'utiliser cet essai seulement comme un guide ou un indicateur d'éventuels problèmes.

10.8.2 Appareillage

- Un dispositif de mesure de l'éclairement solaire avec une précision de $\pm 5\%$.
- Des moyens pour fixer le module, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement.
- Une charge résistive adaptée de telle sorte que le module fonctionnera à proximité du point de puissance maximale à STC.

10.8.3 Mode opératoire

- Fixer la charge résistive au module et l'installer, conformément aux recommandations du constructeur, dans le même plan que le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions de site naturel. Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le constructeur avant que le module ne soit essayé.
- Exposer le module à un éclairement cumulé de $60\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$, mesuré par le dispositif de mesure de l'éclairement, dans des conditions conformes aux climats généraux d'air libre définis dans la CEI 60721-2-1.

10.8.4 Mesures finales

Répéter les essais 10.1, 10.2 et 10.3.

10.8.5 Exigences

Les exigences sont les suivantes:

- pas d'apparition de défauts visuels majeurs, comme définis à l'Article 7;
- la dégradation, par rapport à la valeur mesurée avant l'essai, de la puissance maximale de sortie, ne doit pas excéder 5% ;
- la résistance d'isolement doit remplir les mêmes conditions que pour les mesures initiales.

10.9 Essai de tenue à l'échauffement localisé

10.9.1 Objet

L'objet de cet essai est de déterminer l'aptitude d'un module à supporter les effets d'un échauffement localisé dus par exemple à la rupture d'une soudure ou à la détérioration de l'encapsulation. Ce défaut peut être provoqué par la présence de cellules incompatibles ou fêlées, par des défauts d'interconnexion, par un masquage partiel ou par salissure.

10.9.2 Effet de l'échauffement localisé

L'échauffement localisé d'un module se produit lorsque son courant nominal excède le courant de court-circuit réduit d'une cellule masquée ou défectueuse ou d'un groupe de cellules qu'il contient. Quand de telles conditions apparaissent, le groupe de cellules ou la cellule affecté(e) se trouve polarisé(e) en inverse et dissipe de la puissance, pouvant ainsi créer un échauffement.

La Figure 6 illustre l'effet d'un échauffement localisé sur un module constitué des cellules en série, parmi lesquelles la cellule Y est partiellement masquée. La puissance dissipée dans la cellule Y est égale au produit du courant circulant dans le module par la tension inverse créée aux bornes de Y. Pour chaque niveau d'éclairement, la puissance maximale est dissipée dans les conditions de courant de court-circuit, quand la tension inverse aux bornes de Y est égale à la tension produite par les $(s - 1)$ cellules restantes du module. Ceci est représenté à la Figure 6 par le rectangle hachuré construit à l'intersection de la caractéristique en inverse I-V de la cellule Y avec l'image de la caractéristique en direct I-V des $(s - 1)$ cellules.

Les caractéristiques en inverse pouvant varier considérablement d'une cellule à une autre, il est nécessaire de classer les cellules par limitation en tension (type A) ou limitation en courant (type B), en tenant compte des conditions d'intersection entre la caractéristique en inverse et la «zone limite d'essai» décrite à la Figure 7.

La Figure 6 s'applique aux cellules de type A. Elle illustre que la dissipation maximale dans une cellule de type A défectueuse ou masquée se produit quand la caractéristique en inverse recoupe l'image de la caractéristique des $(s - 1)$ cellules à son point de puissance maximale.

Par contraste, la Figure 8 montre que la dissipation maximale dans une cellule de type B se produit quand elle est complètement masquée. Mais il convient de noter que, dans ce cas, la puissance dissipée peut être seulement une fraction de la puissance totale du module.

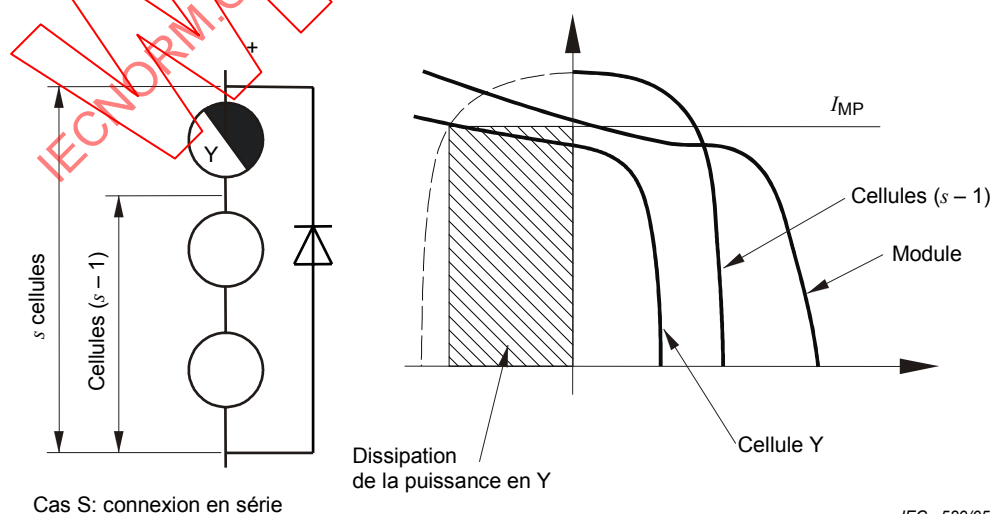


Figure 6 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type A

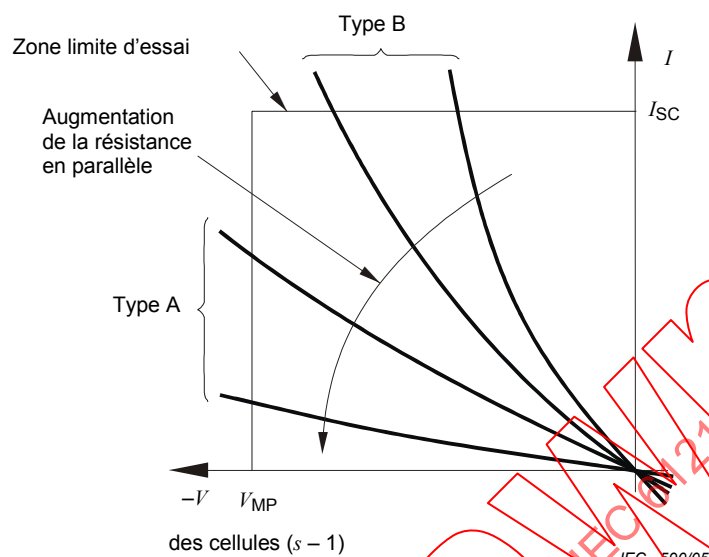


Figure 7 – Caractéristiques inverses

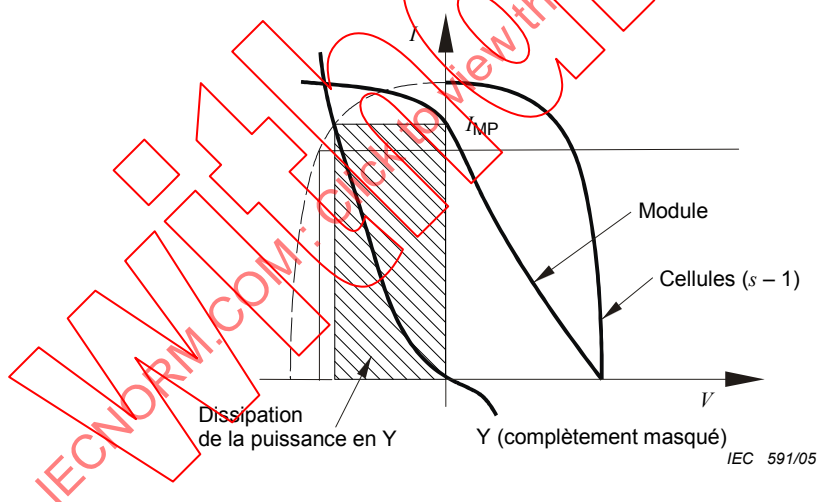


Figure 8 – Effet d'un échauffement localisé sur une cellule de type B

10.9.3 Classification des interconnexions de cellules

Les cellules solaires d'un module photovoltaïque sont connectées de plusieurs manières différentes:

- Cas S: connexion en série de s cellules dans une seule branche;
- Cas SP: connexion en série-parallèle; c'est-à-dire une connexion en parallèle de p branches, chaque branche étant constituée de s cellules en série, voir Figure 9;
- Cas SPS: Connexion en série-parallèle-série; c'est-à-dire une connexion en série de b blocs, chaque bloc étant constitué d'une connexion en parallèle de p branches, chacune d'elles étant constituée de s cellules en série. Voir la Figure 10.

La présence de diodes de dérivation limite la tension inverse des cellules internes et définit ainsi la partie du circuit à soumettre aux essais. La dissipation de puissance interne maximale se produit quand le module est en court-circuit.

NOTE La dissipation de puissance interne maximale de la diode se produit quand l'élément de circuit protégé par la diode by-pass est en court-circuit. Cela s'effectue généralement en court-circuitant l'ensemble du module. Si le module ne dérive pas les diodes, vérifier les instructions du fabricant pour voir si un nombre maximum de modules série est recommandé avant d'installer les diodes de dérivation. Si le nombre maximum recommandé de modules est supérieur à un, les essais à effectuer dans cette section seront effectués avec ce nombre de modules en série. Si ce nombre est important, l'alimentation de puissance fournie à courant constant doit remplacer le tout sauf le module d'essai. Dans ce cas, le courant d'alimentation fourni doit être porté à I_{MP} pendant les 5 h d'exposition.

10.9.4 Appareillage

- Source de rayonnement 1: Simulateur solaire à éclairage permanent ou ensoleillement naturel capable de produire un éclairage d'au moins $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ avec une non-uniformité inférieure à $\pm 2 \%$ et une stabilité temporelle de $\pm 5 \%$.
- Source de rayonnement 2: Simulateur solaire à éclairage permanent de classe C (ou mieux) ou ensoleillement naturel produisant un éclairage de $1\,000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10 \%$.
- Un traceur de courbe I-V des modules.
- Un système de masquage opaque par incrémentation de 5% pour la phase de masquage de la cellule.
- Un capteur de température approprié, si nécessaire.

10.9.5 Mode opératoire

Installer tout dispositif de protection contre les phénomènes d'échauffement recommandé par le constructeur avant que le module ne soit essayé.

10.9.5.1 Cas S

- Exposer le module non masqué à la source de rayonnement 1 sous un éclairage d'au moins $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Tracer la caractéristique I-V et déterminer le courant correspondant à la puissance maximale, I_{MP} .
- Court-circuiter le module et sélectionner une cellule par l'une des méthodes suivantes:

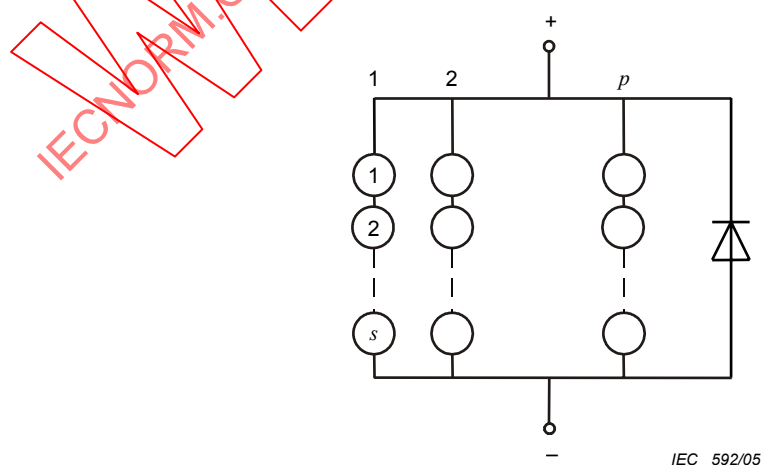


Figure 9 – Cas SP: Connexion en série-parallèle